



SKRIPSI - ME141501

**ANALISA PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN PANJANG SELUBUNG -  
DIAMETER NOZZLE DAN TIP CLEARANCE TERHADAP KINERJA  
PROPELLER K-SERIES**

**Ahmad Dwi Arta Je Mafera**

**NRP. 4213 100 002**

**Dosen Pembimbing**

**Ir. Tony Bambang M, PGD., M.MT**

**Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2017**



**SKRIPSI – ME141501**

**ANALISA PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN PANJANG SELUBUNG –  
DIAMETER *NOZZLE* DAN *TIP CLEARANCE* TERHADAP KINERJA  
*PROPELLER K-SERIES***

**Ahmad Dwi Arta Je Mafera**

**NRP. 4213 100 002**

**Dosen Pembimbing**

Ir. Tony Bambang M, PGD., M.MT

Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



***UNDERGRADUATE THESIS – ME141501***

***ANALYSIS EFFECT OF DUCT LENGTH– NOZZLE DIAMETER RATIO AND TIP  
CLEARANCE VARIATION ON THE PERFORMANCE OF K-SERIES  
PROPELLER***

**Ahmad Dwi Arta Je Mafera**

**NRP. 4213 100 002**

***Supervisor***

Ir. Tony Bambang M, PGD., M.MT

Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

***DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING***

***Faculty of Marine Technology***

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2017**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN PANJANG SELUBUNG – DIAMETER NOZZLE DAN TIP CLEARANCE TERHADAP KINERJA PROPELLER K-SERIES

#### SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salahsatu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada :

Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**AHMAD DWI ARTA JE MAFERA**  
NRP. 4213100002

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi :

**Ir. Tony Bambang M. PGD., M.MT**  
NIP. 1959 0410 1987 01 1001

(  )

**Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.**  
NIP. 1969 1225 1997 02 1001

(  )

SURABAYA  
Juli 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN PANJANG SELUBUNG – DIAMETER *NOZZLE* DAN *TIP CLEARANCE* TERHADAP KINERJA *PROPELLER K-SERIES*

#### SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salahsatu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada :

Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**AHMAD DWI ARTA JE MAFERA**  
NRP. 4213100002

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.  
NIP. 1977 0802 2008 01 1007

SURABAYA

Juli 2017



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISA PENGARUH VARIASI PERBANDINGAN PANJANG  
SELUBUNG – DIAMETER NOZZLE DAN TIP CLEARANCE TERHADAP  
KINERJA PROPELLER K-SERIES**

Nama Mahasiswa : Ahmad Dwi Arta Je Mafera  
NRP : 4213100002  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : 1. Ir. Tony Bambang M, PGD., M.MT  
2. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Salah satu jenis baling-baling kapal atau *propeller* adalah *ducted propeller*. *Ducted propeller* adalah *propeller* dengan selubung atau *duct* yang dapat meningkatkan gaya dorong atau *thrust* pada *propeller* serta berguna untuk mengarahkan aliran air yang akan melewati *Propeller*. Selain meningkatkan gaya dorong atau *thrust*, *ducted propeller* juga dapat meningkatkan torsi atau *torque* dibandingkan dengan tanpa *duct*. Komponen yang paling penting dari *ducted propeller* adalah  $L_d/D$  dan *tip clearance*.  $L_d/D$  adalah sebuah koefisien perbandingan antara panjang selubung / *duct* dan diameter selubung / *duct*, sedangkan *tip clearance* adalah jarak antar ujung *propeller* / *tip* dengan diameter dalam dari selubung atau *duct*. Kedua komponen tersebut yang dibahas pada penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja *propeller* setelah diberikan variasi pada  $L_d/D$  dan *tip clearance*. Metode yang dilakukan untuk analisa *propeller* adalah *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan kinerja *propeller* yang paling optimal adalah *ducted propeller* dengan  $L_d/D = 0.5$  dan *tip clearance* 40 mm.

**Kata Kunci :** *Ducted Propeller,  $L_d/D$ , Tip Clearance, Kaplan, CFD*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALYSIS EFFECT OF DUCT LENGTH– NOZZLE DIAMETER RATIO  
AND TIP CLEARANCE VARIATION ON THE PERFORMANCE OF K-  
SERIES PROPELLER**

Student Name : Ahmad Dwi Arta Je Mafera  
NRP : 4213100002  
Department : Marine Engineering  
Lecturer : 1. Ir. Tony Bambang M, PGD., M.MT  
2. Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

*One type of ship propeller is a ducted propeller. Ducted propeller are propellers with duct that can increase thrust on the propeller and are useful for directing the flow of water that will pass through the Propeller. In addition to improving thrust, ducted propeller can also increase torque compared with no duct. The most important components of ducted propeller are  $L_d / D$  and tip clearance.  $L_d / D$  is a coefficient of comparison between the duct length and the duct diameter, whereas the tip clearance is the distance between the tip of the propeller with the inner diameter of the duct. Both components are discussed in this study. The purpose of this research is to know the performance of propeller after given variation on  $L_d / D$  and tip clearance. The method used for propeller analysis is Computational Fluid Dynamic (CFD). Based on simulation result, the most optimal propeller performance is ducted propeller with  $L_d / D = 0.5$  and tip clearance 40 mm.*

**Keywords : Ducted Propeller,  $L_d/D$ , Tip Clearance, Kaplan, CFD**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin*, puji syukur kehadiran Allah SWT dengan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “Analisa Pengaruh Variasi Perbandingan Panjang Selubung – Diameter Nozzle dan Tip Clearance terhadap Kinerja Propeller K-Series”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi matakuliah Skripsi dan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Pada kesempatan kali ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu terselesaikannya Skripsi ini, karena dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Ibu Dyah Amboro Regyaning Tyas, Ayah Mohammad Sulton, S.Pd. Serta Rahma Arti Biantari dan Ahmad Sarif selaku kakak yang telah memberikan doa, motivasi serta semangat untuk menyelesaikan Skripsi.
2. Bapak Dr. Eng., M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.
3. Bapak Ir. Toni Bambang M., PGD., M.MT. dan Bapak Irfan Syarif Arief, ST. MT. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak Ir. H. Alam Baheramsyah, M.Sc selaku dosen wali, yang selama 8 semester ini mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
5. Adek Mega Novia Dwicahyani yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.
6. Teman-teman BARAKUDA '13 yang selalu memberikan semangat serta doa dan dukungan.
7. Semua pengurus dan anggota Laboratorium “Marine Manufacture and Design (MMD)” yang telah memberikan semangat dan transfer ilmu selama pengerjaan skripsi.
8. Mas Rizky Maulana Khozin, Mas Aji Suryadi dan Mas Syafiuddin atas bantuan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
9. Semua anggota “UENAK TEAM” yang selalu memberikan hiburan serta semangat kepada penulis saat pengerjaan Skripsi.
10. Semua penghuni “KG-87” yang telah memberikan semangat kepada penulis saat pengerjaan skripsi.
11. Serta semua teman, sahabat dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam pembuatan laporan Skripsi ini penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan analisa masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga dengan semua ini

mendapat berkah dan rahmat Allah SWT sehingga analisa pembuatan design dapat berkembang dan dapat diterapkan untuk industri perkapalan.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Propeller .....	5
2.2. Ducted Propeller.....	9
2.3. Nozzle.....	10
2.4. Karakteristik Open Water.....	12
2.5. Gaya Gesek dan Gaya Angkat.....	13
2.6. Thrust dan Torque .....	14
2.7. Computational Fluid Dynamic (CFD).....	15
BAB III METODOLOGI .....	19
3.1. Definisi Masalah .....	19
3.2. Studi Literatur .....	19
3.3. Pembuatan Model.....	19
3.4. Simulasi / Running Model.....	26
3.5. Pencatatan Data Kinerja Propeller .....	32
3.6. Kesimpulan.....	33
3.7. Diagram Alir .....	33
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Rekapitulasi Model Simulasi.....	35
4.2. Pengambilan Data.....	35
4.3. Pengolahan Data.....	35
4.4. Pembahasan .....	37
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	53
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagian-bagian Propeller[2].....	5
Gambar 2.2. Fixed Pitch Propeller[11].....	6
Gambar 2.3. Controllable pitch propeller (CPP)[21] .....	6
Gambar 2.4. Komponen Controllable pitch propeller (CPP)[15].....	7
Gambar 2.5. Integrated Propeller & Rudder (IPR)[8].....	8
Gambar 2.6. Azimuth thruster[26] .....	8
Gambar 2.7. Electrical Pod Propeller[22] .....	9
Gambar 2.8. Laju Aliran Pada Ducted Propeller[27] .....	9
Gambar 2.9. Teori Momentum Dasar[6].....	10
Gambar 2.10. Jenis-jenis duct yang dipakai pada Ducted Propeller[5].....	11
Gambar 2.11. Geometri Ducted Propeller.....	11
Gambar 2.12. Diagram $K_Q$ $K_T$ $J$ (Openwater Test)[28].....	13
Gambar 2.13. Gaya yang bekerja pada Blade[12].....	14
Gambar 2.14. Penentuan Boundary Condition dan Meshing[30] .....	16
Gambar 2.15. Analisa Aliran pada CFD[7].....	17
Gambar 3.16. Geometri Propeller Ka-Series / Kaplan .....	22
Gambar 3.17. Geometri Model dengan 1 Blade.....	22
Gambar 3.18. Geometri Model dengan 3 Blade.....	23
Gambar 3.19. Geometri Model dalam Bentuk Solid.....	23
Gambar 3.20. Irisan Geometri Propeller .....	24
Gambar 3.21. Penggambaran Nozzle .....	25
Gambar 3.22. Propeller dengan Nozzle 21 (Ka-21-40).....	26
Gambar 3.23. Penggambaran Domain Fluid .....	27
Gambar 3.24. Hasil Meshing.....	27
Gambar 3.25. Proses pendefinisian boundary condition .....	31
Gambar 4.26. Tampilan CFX-Solver .....	31
Gambar 4.27. Kontur tekanan pada geometri model Ka-19A-20.....	32
Gambar 4.28. Grafik hubungan Torque dengan $J$ pada model Ka-19A .....	38
Gambar 4.29. Grafik hubungan Torque dengan $J$ pada model Ka-21 .....	38
Gambar 4.30. Grafik hubungan Torque dengan $J$ pada model Ka-23.....	39
Gambar 4.31. Grafik hubungan Thrust dengan $J$ pada model Ka-19A .....	39
Gambar 4.32. Grafik hubungan Thrust dengan $J$ pada model Ka-21 .....	40
Gambar 4.33. Grafik hubungan Thrust dengan $J$ pada model Ka-23 .....	40
Gambar 4.34. Grafik hubungan Torque dengan $J$ pada model tip clearance 20 mm .....	41
Gambar 4.35. Grafik hubungan Torque dengan $J$ pada model tip clearance 40 mm .....	41
Gambar 4.36. Grafik hubungan Torque dengan $J$ pada model tip clearance 60 mm .....	42
Gambar 4.37. Grafik hubungan Thrust dengan $J$ pada model tip clearance 20 mm.....	42
Gambar 4.38. Grafik hubungan Thrust dengan $J$ pada model tip clearance 40 mm.....	43
Gambar 4.39. Grafik hubungan Thrust dengan $J$ pada model tip clearance 60 mm.....	43
Gambar 4.40. Grafik hubungan Efficiency dengan $J$ pada model Ka-19A .....	44
Gambar 4.41. Grafik hubungan Efficiency dengan $J$ pada model Ka-21 .....	45
Gambar 4.42. Grafik hubungan Efficiency dengan $J$ pada model Ka-23 .....	45
Gambar 4.43. Grafik hubungan Efficiency dengan $J$ pada model tip clearance 20 mm .....	46
Gambar 4.44. Grafik hubungan Efficiency dengan $J$ pada model tip clearance 40 mm .....	47
Gambar 4.45. Grafik hubungan Efficiency dengan $J$ pada model tip clearance 60 mm .....	47

Gambar 4.46. Grafik 10KQ KT J Model Ka-19A.....	48
Gambar 4.47. Grafik 10KQ KT J Model Ka-21.....	48
Gambar 4.48. Grafik 10KQ KT J Model Ka-23.....	49
Gambar 4.49. Streamline aliran fluida .....	49
Gambar 4.50. Kontur tekanan pada model.....	50
Gambar 4.51. Kontur kecepatan fluida.....	50
Gambar 4.52. Arah vektor aliran fluida pada duct .....	51

## DAFTAR TABEL

Table 3.1. Variasi $L_d/D$ .....	20
Table 3.2. Nama Model.....	21
Table 3.3. Data Ordinat Nozzle 19A - 24.....	24
Table 3.4. Koordinat Nozzle Model Ka-21-40.....	25
Table 3.5. Pendefinisian Domain Fluida .....	28
Table 3.6. Pendefinisian Domain Duct.....	30
Table 3.7. Pendefinisian Domain Kaplan.....	30
Table 3.8. Hasil validasi elemen meshing .....	32
Table 4.9. Rekapitulasi Simulasi Model.....	35

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

# BAB 1

## PENDAHULAN

### 1.1. Latar Belakang

Kapal merupakan salah satu dari berbagai jenis transportasi yang ada di dunia ini. Kapal mempunyai nilai ekonomi yang menjanjikan pada masa yang akan datang. Untuk menunjang kinerja dari kapal maka dibutuhkan berbagai sistem penunjang yang baik, salah satunya adalah sistem propulsi. Dalam pemilihan sistem propulsi disesuaikan dengan jenis kapal dan karakteristik sistem propulsi yang dibutuhkan.

*Propeller* adalah salah satu peralatan yang terdapat dalam sistem propulsi. *Propeller* berfungsi sebagai penggerak pada kapal, sehingga kapal bisa bergerak dari satu tempat ketempat yang lain. Pada proses kerjanya *propeller* akan menghasilkan gaya dorong, atau sering disebut sebagai *thrust*. *Propeller* terdiri dari berbagai bagian, seperti, daun *propeller* (*blade*), yang kemudian dari jumlah *blade* tersebut akan tersabung dalam *hub* yang terkoneksi langsung dengan *main engine* melalui *shaft* atau poros *propeller*.

Seiring dengan berkembangnya teknologi di era sekarang, berbagai inovasi tentang *propeller* juga mengalami perkembangan. Ada berbagai jenis *propeller* yang telah dikembangkan untuk mencapai efisiensi gaya dorong yang baik dibandingkan dengan *propeller* biasa atau konvensional. Adapun contoh jenis-jenis *propeller* yang sudah dikembangkan selama ini seperti, *B-Series*, *KCA-Series*, *Japanese AU-Series*, *Gwan Series*, *Ducted Propeller* dan lain sebagainya. Jenis-jenis *propeller* tadi merupakan pengembangan dari *propeller* konvensional, sehingga tiap-tiap *propeller* mempunyai karakteristik sendiri-sendiri.

Salah satu jenis *propeller* yang dikembangkan pada *propeller* jenis *ducted* khususnya untuk memaksimalkan gaya dorong atau *thrust* adalah jenis *ducted propeller*. *Ducted propeller* adalah jenis *propeller* yang mempunyai selubung (*duct*) berupa *nozzle*. Penelitian-penelitian sudah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari *propeller*, seperti yang sudah dilakukan oleh E.A. de Barros (2011)[7], R. Bontempo (2015)[4], Ding Yongle (2015)[30] [29] dan Rodolfo B. (2013)[3]. E.A. de Barros (2011)[7] melakukan penelitian terhadap pengaruh penggunaan *ducted propeller* terhadap kemampuan manuver pada *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV). Dalam melakukan penelitian ini, E.A. de Barros (2011)[7] mengkomparasikan antara 2 metode, yaitu metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dan *Accelerated Solvent Extraction* (ASE) yang digunakan untuk memprediksi gaya dan momen pada AUV yang telah dikombinasikan dengan *ducted propeller*.

R. Bontempo (2015)[4] melakukan penelitian juga terhadap *propeller* jenis *ducted* ini. Penelitian yang dibuatnya membahas tentang analisa performa dari *ducted propeller* yang menggunakan *decelerating duct*. Pada penelitiannya tentang *ducted propeller* tipe *decelerating* ditunjukkan bahwa jika gaya aksial yang bekerja pada *duct* berlawanan dengan gaya dorong (*thrust*) *propeller*, sehingga *nozzle* secara efektif dapat memperlambat fluida aliran sebelum melewati *impeller*. Akibatnya, peningkatan tekanan statis pada saluran masuk *impeller* juga diperoleh sehingga memperlambat terjadinya fenomena baling-baling kavitasi. Namun konsekuensinya menghasilkan penurunan efisiensi gaya dorong (*thrust*).

Ding Yongle (2015)[30] pada penelitiannya tentang kajian numerik pengaruh besar kecilnya *tip clearance* terhadap kinerja dari *ducted propeller* juga menyebutkan bahwa adanya pengaruh besar kecilnya *tip clearance* terhadap kinerja dari *ducted propeller*. Disebutkan bahwa gaya dorong dan torsi menurun seiring dengan bertambahnya *tip clearance* pada *ducted propeller*.

Sedangkan pada penelitian Rodolfo B. (2013)[3] menyebutkan bahwa terdapat pengaruh variasi jenis *duct* pada *ducted propeller* terhadap kinerja dari *ducted propeller*. Rodolfo B. (2013) meneliti analisa aliran pada *ducted propeller* dengan adanya variasi bentuk *duct* ini menggunakan metode *actuator disk model*.

Pemberian selubung (*duct*) selain untuk meningkatkan gaya dorong (*thrust*) juga untuk mengarahkan aliran air ke *propeller*, sehingga volume air yang melewati *propeller* meningkat. Jenis *propeller* ini sering digunakan pada kapal tunda. Kelebihan dari *propeller* jenis ini adalah dapat mengurangi kavitasi pada ujung *blade* akibat adanya selubung atau *duct*. [12]

Namun dalam pengembangan *ducted propeller* masih memakai beberapa jenis *nozzle* dengan perbandingan nilai panjang selubung-diameter *nozzle* yang tetap untuk selubungnya (*duct*). Sehingga dari permasalahan tersebut maka perlu adanya analisa pengaruh variasi perbandingan nilai panjang selubung-diameter *nozzle* terhadap kinerja dari *ducted propeller*, khususnya *propeller* jenis *Ka-Series*. *Propeller Ka-Series* yang digunakan merupakan *propeller* dengan kinerja terbaik pada penelitian yang sudah dilakukan oleh Dani (2015).[18] Serta perlu juga dilakukan analisa pengaruh jarak (*tip clearance*) antara *propeller* dengan selubung (*duct*). Analisa tersebut menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

## 1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian yang disampaikan di atas, maka permasalahan yang menjadi bahan analisa dalam skripsi ini adalah :

- 1.2.1. Bagaimana pengaruh variasi nilai panjang selubung-diameter *nozzle* terhadap kinerja dari *Propeller* jenis *K-Series*.
- 1.2.2. Bagaimana pengaruh variasi jarak (*tip clearance*) antara *propeller* dengan selubung (*duct*) terhadap kinerja dari *Propeller* jenis *K-Series*.

## 1.3. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan dianalisa pada skripsi ini, maka akan dibatasi permasalahannya sebagai berikut :

- 1.3.1. Menggunakan *propeller* dengan Kaplan dengan diameter sebesar 1 m.
- 1.3.2. *Propeller* yang digunakan *propeller* 3 daun dengan  $A_e/A_o = 0.65$
- 1.3.3. *Pitch Ratio* ( $P/D$ ) *Propeller* adalah 0.6
- 1.3.4. Koefisien *Advance* ( $J$ ) yang digunakan adalah 0.3; 0.4 ; 0.5 ; 0.6 ; 0.7 ; 0.8 ; 0.9 ; 1.0 ; 1.1; 1.2
- 1.3.5. Jenis *Duct* yang digunakan *Nozzle* 19A, 21, dan 23.
- 1.3.6. Besar total *tip clearance* yang digunakan 20 mm, 40 mm dan 60 mm.
- 1.3.7. Besar  $L_d/D$  0.5, 0.7, dan 0.9 sesuai dengan *nozzle*
- 1.3.8. Analisa yang dilakukan dengan mengabaikan analisa kavitasi

- 1.3.9. Analisa yang dilakukan dengan mengabaikan pengaruh factor dan kondisi aliran fluida (air) dari lambung.
- 1.3.10. Pengujian *propeller* bersifat Open Water Test dengan menggunakan *software* CFD.

#### **1.4. Tujuan**

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, pada penulisan skripsi ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

- 1.4.1. Mengetahui pengaruh adanya variasi nilai panjang selubung-diameter *nozzle* terhadap kinerja dari *Propeller* jenis *K-Series*.
- 1.4.2. Mengetahui pengaruh adanya variasi jarak (*clearance*) antara *propeller* dengan selubung (*duct*) terhadap kinerja dari *Propeller* jenis *K-Series*.

#### **1.5. Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan skripsi ini adalah :

- 1.5.1. Mengetahui kinerja dari *Propeller* pada masing-masing nilai panjang selubung-diameter *nozzle* yang digunakan.
- 1.5.2. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam rangka pengembangan di bidang maritim.



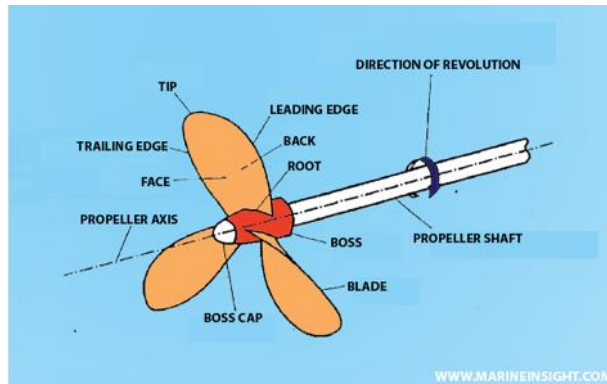
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Propeller*

*Propeller* adalah salah satu dari bagian kapal dalam sistem propulsi yang paling penting. *Propeller* merupakan peralatan yang mengkonversi daya yang dihasilkan *main engine* (berupa gerak rotasi) menjadi gaya dorong atau *thrust* yang membuat kapal bergerak. *Propeller* sendiri dalam dunia perkapalan sering disebut sebagai *Marine Screw Propeller*.



Gambar 2.1. Bagian-bagian *Propeller*[2]

*Propeller* berotasi pada garis sumbu poros *propeller*. Pada kondisi pengoperasian normal (*forward operation*), *propeller* akan berotasi searah dengan arah jarus jam dilihat dari buritan atau belakang kapal. Bagian tepi dari daun *propeller* bagian depan disebut dengan *leading edge*. Sedangkan sisi sebaliknya disebut *trailing edge*. Permukaan daun *propeller* yang terlihat dari bagian sisi poros (menghadap ke buritan kapal) disebut dengan *back*, sedangkan sisi lain (menghadap laut) disebut dengan *face*. [13]

##### 2.1.1. Jenis-jenis *Propeller*

Seiring dengan perkembangan zaman bentuk-bentuk dari *propeller* juga mengalami perkembangan yang cukup signifikan. Banyak jenis-jenis *propeller* yang sudah dikembangkan untuk memperoleh efisiensi yang lebih baik. Jenis-jenis *propeller* tersebut yaitu:

###### 2.1.1.1. *Propeller* Konvensional

*Propeller* konvensional sering disebut dengan *fixed pitch propeller* (FPP) atau *propeller* dengan pitch tetap. *Fixed pitch propeller* (FPP) biasa digunakan untuk kapal besar dengan rpm relatif rendah dan torsi yang dihasilkan tinggi, dengan keuntungan pemakaian bahan bakar

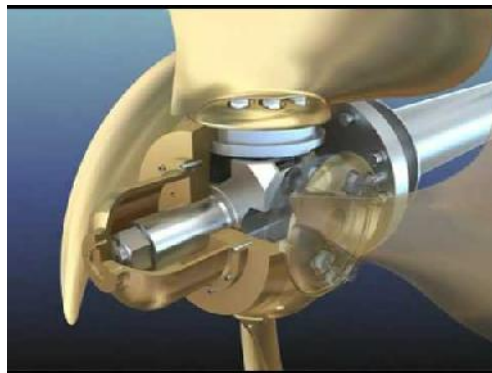
lebih ekonomis, *noise* atau getaran minimal, dan kavitasi minimal. Biasanya didesain secara individual sehingga memiliki karakteristik khusus, sehingga untuk kapal tertentu akan memiliki nilai efisiensi yang optimal.



Gambar 2.2. *Fixed Pitch Propeller*[11]

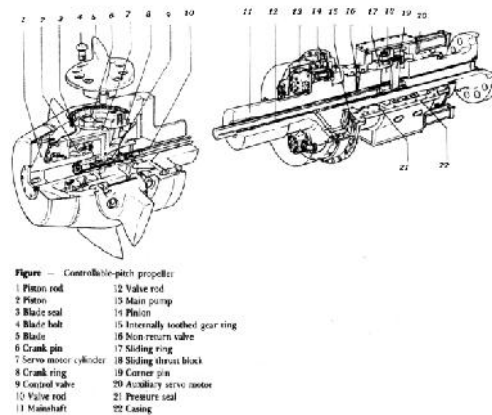
#### 2.1.1.2. *Controllable Pitch Propeller (CPP)*

*Propeller* jenis ini merupakan *propeller* dengan *pitch* yang dapat diubah atau diatur, sering disebut sebagai *controllable pitch propellers (CPP)*. *Controllable pitch propeller (CPP)* merupakan baling-baling kapal dengan langkah daun *propellernya* dapat diubah-ubah sesuai dengan kebutuhan, misal untuk rpm rendah biasa digunakan *pitch* yang besar dan rpm tinggi digunakan *pitch* yang pendek, atau dapat digunakan untuk mendorong kedepan dan menarik kapal mundur ke belakang, sehingga hal ini dapat menciptakan pemakaian bahan bakar seefektif mungkin. *Propeller* jenis ini sering diaplikasikan pada kapal tunda atau *tugboat*.



Gambar 2.3. *Controllable pitch propeller (CPP)*[21]

Prinsip kerja dari *Controllable pitch propeller* (CPP) menggunakan sistem hidrolis yaitu dengan mengalirkan fluida minyak menuju suatu rumah yang terletak pada bos baling-baling, pada rumah tersebut terdapat rotor yang dihubungkan dengan daun baling-baling (*blade*), sehingga jika dialirkan fluida dalam arah maju maka minyak akan mendorong sirip pemisah pada rotor dan mendorongnya sehingga memutar daun baling-baling dengan sudut tertentu, jika arah aliran dibalik maka daun baling-baling akan berputar kearah sebaliknya.

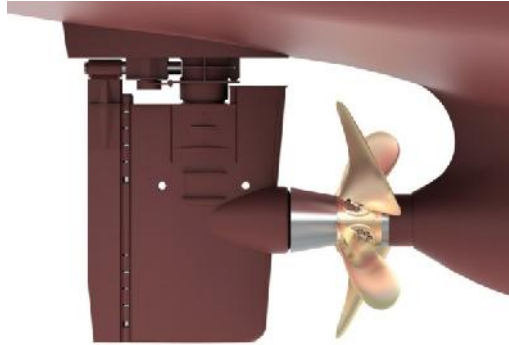


Gambar 2.4. Komponen *Controllable pitch propeller* (CPP)[15]

Pengoperasiannya dapat dilakukan dengan dua system yaitu sistem *pull-push rod* dan hub piston sistem. Pada sistem *pull-push rod* digunakan batang panjang yang dihubungkan dari poros kapal menuju hub baling-baling. Sedangkan pada hub piston sistem, batang piston diletakkan pada hub baling-baling.

### 2.1.1.3. Integrated Propeller & Rudder

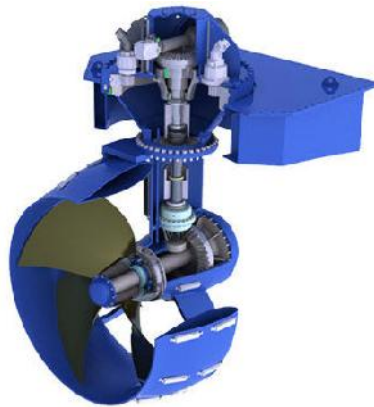
*Integrated propeller & rudder* merupakan *propeller* yang berpadu dengan *rudder*. IPR merupakan *propeller* yang hubnya dihubungkan dengan rudder, ini adalah pengembangan terbaru dari system propulsi kapal. Kondisi ini menyebabkan arus air dari *propeller* yang melewati *rudder* akan memberikan peningkatan pengendalian dan pengaturan *rudder*, sehingga di peroleh penurunan pemakaian bahan bakar.



Gambar 2.5. *Integrated Propeller & Rudder (IPR)*[8]

#### 2.1.1.4. Azimuth Thruster

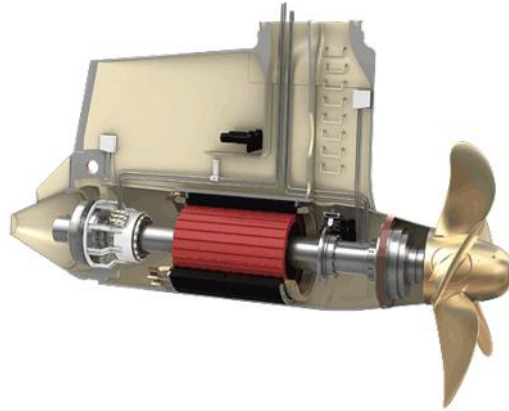
*Azimuth thruster* digunakan untuk mempermudah kapal dalam manuver, dengan posisi alat penggerak berada di bagian atas sehingga memberi tempat yang lebih lapang untuk menempatkan penggerak utamanya, baik berupa motor diesel atau motor listrik. Pada *propeller* jenis ini lebih banyak menggunakan *ducted* atau selubung *nozzle* untuk memperbesar thrust atau gaya dorong *propeller*.



Gambar 2.6. *Azimuth thruster*[26]

#### 2.1.1.5. Electrical Pod

Penggunaan propulsi motor listrik mulai dari 5 sampai dengan 25 Mwatt, menggantikan penggunaan *propeller* dengan poros dan *rudder* konvensional. Teknologi Pod memungkinkan untuk menempatkan *propeller* pada daerah aliran air yang optimal. Pod *propeller* diadopsi dari *Azimuth Propeller*, dengan menempatkan electro motor di dalam pod diluar dari badan kapal.



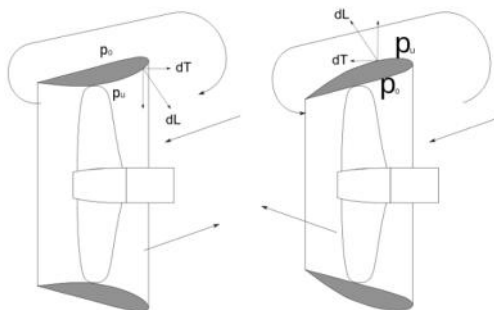
Gambar 2.7. Electrical Pod Propeller[22]

Masih banyak lagi jenis-jenis *propeller* yang merupakan hasil pengembangan dari *propeller-propeller* sebelumnya. Masing-masing *propeller* mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing, serta mempunyai fungsi yang berbeda pada masing-masing *propeller*.

## 2.2. Ducted Propeller

*Ducted Propeller*, yang juga dikenal dengan *kort nozzle* adalah salah satu jenis *Propeller* tetap dengan *non-rotating nozzle*. *Propeller* jenis ini dikembangkan untuk memperbaiki dan menaikkan efisiensi dari *Propeller*. *Propeller* jenis ini biasanya digunakan untuk beban berat dan diameter dari *Propeller* terbatas karena adanya *nozzle* yang mengelilinginya.

Dengan adanya *nozzle* atau *duct* yang menyelubunginya, maka gaya dorong atau *thrust* *Propeller* akan meningkat. Selain untuk meningkatkan gaya dorong atau *thrust* dari *Propeller*, selubung (*duct*) juga berguna untuk mengarahkan aliran air yang akan melewati *Propeller*. Dengan diameter masuk lebih besar daripada diameter keluar, maka volume dan laju aliran air yang melewati *Propeller* akan naik berbanding lurus dengan diameter inlet *duct*. [19]



Gambar 2.8. Laju Aliran Pada Ducted Propeller[27]

Terdapat dua jenis tipe *ducted propeller* sesuai dengan alirannya, yaitu *Ducted Propeller* dengan menggunakan *Accelerating Duct* dan *Decelerating Duct*. *Accelerating Duct* dan *Decelerating Duct* akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab berikutnya. Alasan yang mendasari penetapan *ducted propeller* ini agar dapat dihargai, dalam hal global dengan mempertimbangkan bentuk umumnya dalam kaitannya dengan persamaan kontinuitas mekanika fluida. Hal ini dapat dinyatakan untuk aliran mampat dalam saluran tertutup antara dua *station* a-a dan b-b sebagai,[5]:

$$\rho A_a v_a = \rho A_b v_b \quad (1)$$

Dimana :

= Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$A_a$  = Cross-section area pada station a-a ( $\text{m}^2$ )

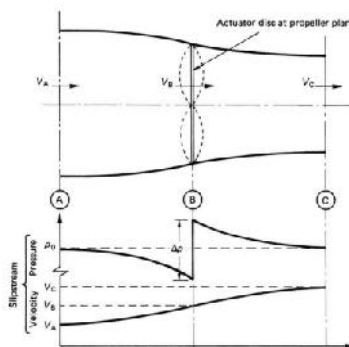
$A_b$  = Cross-section area pada station b-b ( $\text{m}^2$ )

$v_a$  = Kecepatan aliran pada station a-a ( $\text{m/s}$ )

$v_b$  = Kecepatan aliran pada station b-b ( $\text{m/s}$ )

### 2.3. Nozzle

Bagian penting dari *ducted propeller* adalah *nozzle* atau selubung yang mengelilingi *propeller* itu sendiri. Pada dasarnya prinsip dari *ducted propeller* itu sendiri adalah penerapan dari teori momentum. Gambar 2.9. di bawah ini menunjukkan teori momentum dasar pada *ducted propeller*.



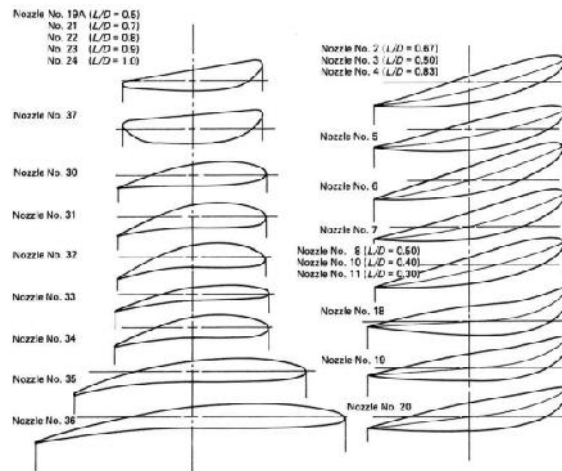
Gambar 2.9. Teori Momentum Dasar[6]

Teori dasar momentum untuk operasi *ducted propeller* ini sudah dipakai oleh Horn (1940). Agar efisiensi gaya dorong (*thrust*) mempunyai nilai yang baik, maka volume air yang melewati *propeller* harus sebesar mungkin, dengan kecepatan aliran sekecil mungkin. [24]

Sesuai dengan tipe alirannya, jenis *nozzle* dibedakan menjadi 2, yaitu *accelerating nozzle* dan *decelerating nozzle*. *Propeller* Kaplan yang dipasang *accelerating nozzle* disebut *Ka-propeller*, sedangkan *propeller* Kaplan yang dipasang *decelerating nozzle* disebut *Kd-propeller*. (G. Kuiper, 1992). Pada aliran *accelerating nozzle* berfungsi untuk meningkatkan efisiensi *propeller* dengan

menghasilkan daya dorong positif, sedangkan *decelerating nozzle* digunakan untuk menaikkan tekanan statis pada *propeller* dengan adanya daya dorong negatif. [10]

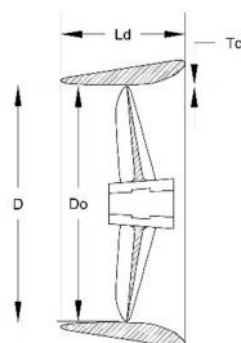
Berikut adalah jenis-jenis *nozzle* yang dipakai untuk *ducted propeller*.



Gambar 2.10. Jenis-jenis *duct* yang dipakai pada *Ducted Propeller*[5]

Jika melihat dari gambar di atas, dapat disimpulkan bahwa jenis *nozzle* yang di pakai pada *Ka-propeller* adalah *nozzle* no. 2-20, 19A, 21-24 dan 37 yang merupakan *accelerating nozzle*. Sedangkan untuk *Kd-propeller* menggunakan *nozzle* no. 30-36 yang merupakan *decelerating nozzle*.

Terdapat 5 jenis *nozzle* yang biasa dipakai di *propeller* jenis *Ka-Series*. Tipe *nozzle* tersebut adalah 19A, 21, 22, 23 dan 24. Dalam menuliskan sebuah selubung (*duct*), hal paling penting adalah  $L_d/D$ .  $L_d$  adalah panjang selubung (*duct*), sedangkan  $D$  adalah diameter dari selubung (*duct*) itu sendiri.



Gambar 2.11. Geometri *Ducted Propeller*

Selain  $L_d$ , hal yang terpenting dalam *ducted propeller* adalah *tip clearance* ( $T_c$ ). *Tip clearance* adalah jarak antara ujung *propeller* dengan diameter dalam *duct*



(D). Besar *tip clearance* pada *ducted propeller* berpengaruh terhadap efisiensi dan gaya dorong dari *propeller* (*thrust*). Menurut penelitian tentang kajian numerik pengaruh besarnya *tip clearance* terhadap kinerja dari *ducted propeller* dengan metode *Reynolds-averaged Navier–Stokes equations* (RANS) yang sudah dilakukan oleh (Yongle, 2015)[30] membuktikan bahwa besarnya *tip clearance* berpengaruh pada kinerja dan besarnya gaya dorong pada *ducted propeller*. Gaya dorong dan torsi menurun seiring dengan bertambahnya *tip clearance* pada *ducted propeller*. Sehingga pada penelitian kali ini, penulis akan membuktikan hasil kajian numeric tersebut dengan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD).

## 2.4. Karakteristik *Open Water*

Pada umumnya karakteristik dari *propeller* kapal pada kondisi *open water test* adalah seperti yang direpresentasikan pada Diagram  $K_T - K_Q - J$ . *Open Water Test* adalah analisa yang dilakukan terhadap *propeller* dalam keadaan tanpa menggunakan lambung kapal, dalam artian hanya terdiri dari poros dan *propeller* yang kemudian akan dialiri dengan fluida yang mempunyai kecepatan tertentu.[23] Model persamaan untuk karakteristik kinerja *propeller* kapal adalah sebagai berikut [5] :

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot z D^4} \quad (2)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot z D^5} \quad (3)$$

$$J = \frac{V_a}{n} \quad (4)$$

Dimana:

$K_T$  = Koefisien gaya dorong *propeller*

$K_Q$  = Koefisien torsi *propeller*

$J$  = Koefisien *advanced propeller*

$V_a$  = kecepatan *advanced* (knot)

$D$  = diameter *propeller* (m)

$n$  = putaran *propeller* (rps)

$T$  = *thrust propeller* (N)

$Q$  = *torque propeller* (Nm)

= massa jenis fluida (*fluid density*) (Kg/m<sup>3</sup>)

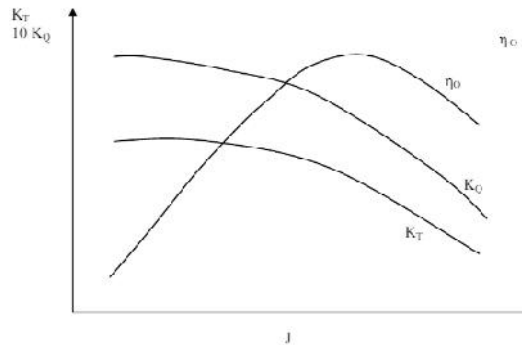
Untuk nilai efisiensi *propeller* pada *open water* diberikan rumus:

$$\eta_o = \frac{TV_a}{2\pi} \quad (5)$$

Sehingga dari persamaan 1 sampai 3, persamaan 5 nilai efisiensi *propeller* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta_o = \frac{K_T}{K_Q} \frac{J}{2\pi} \quad (6)$$

Secara umum karakteristik dari baling-baling kapal pada kondisi *open water test* adalah seperti yang direpresentasikan pada Diagram  $K_T - K_Q - J$  (gambar 2.12). Setiap tipe dari masing-masing baling-baling kapal, memiliki karakteristik *kurva* kinerja yang berbeda-beda. Sehingga kajian terhadap karakteristik baling-baling kapal tidak dapat digeneralisasikan untuk keseluruhan bentuk atau tipe dari baling-baling. [28]



Gambar 2.12. Diagram  $K_Q - K_T - J$  (Openwater Test)[28]

Penggunaan *ducted propeller* dapat memberikan pengaruh terhadap gaya dorong yang dihasilkan pada sebuah kapal. Dengan adanya tabung yang penampangnya berbentuk *foil* yang mengelilingi *propeller* tersebut, dapat meningkatkan efisiensi *propeller* dan menghasilkan gaya dorong yang lebih besar dibandingkan dengan *propeller* biasa yang tidak menggunakan tabung. Kenaikan yang dihasilkan dari gaya dorong sebesar 17% pada *ducted propeller* bila dibandingkan dengan *propeller* yang tidak menggunakan *ducted*. [29]

## 2.5. Gaya Gesek dan Gaya Angkat

Gaya gesek (*Force Drag*) dan Gaya Angkat (*Force Lift*) menurut (Popov, 1984)[20] adalah tegangan-tegangan yang dikalikan dengan masing-masing luasan dimana tegangan tersebut bekerja dan menghasilkan gaya-gaya. Sedangkan jumlah dari gaya-gaya ini haruslah tetap atau konstan dalam keseimbangannya pada sebuah potongan khayal.

Komponen lain dari intensitas pada gaya yang bekerja secara sejajar dengan bidang luas elementer disebut dengan tegangan geser (*shear stress*), dilambangkan dengan  $\tau$  (tau), sehingga secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta A} \quad (7)$$

Sehingga dari persamaan (6) dapat dituliskan rumus matematis gaya gesek sebagai berikut

$$F_d = \tau \times A \quad (8)$$

Dimana :

$F$  = Force Drag (N)

= Wallshear (Pa)

$A$  = Luas Area ( $m^2$ )

Sedangkan untuk mendapatkan rumus matematis gaya angkat dari persamaan (6) adalah sebagai berikut :

$$F_{ti} = P \times A \quad (9)$$

Dimana :

$F$  = Force Lift (N)

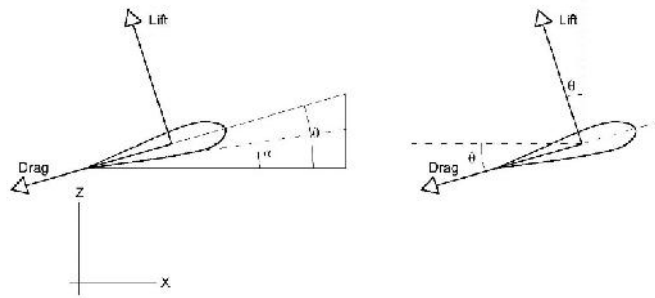
$P$  = Pressure (Pa)

$A$  = Luas Area ( $m^2$ )

## 2.6. Thrust dan Torque

*Thrust* atau gaya dorong adalah gaya yang bekerja pada *propeller* untuk mendorong kapal, sehingga kapal bisa bergerak dari suatu tempat ke tempat yang lain. Rumus matematis dari *thrust* dapat diambil dari teori *blade element momentum*.

Teori *blade element momentum* merupakan teori yang menggabungkan antar teori *blade element* dengan teori momentum, sehingga teori *blade element momentum* ini bisa digunakan untuk menghitung gaya yang bekerja pada baling-baling atau *propeller*.



Gambar 2.13. Gaya yang bekerja pada *Blade*[12]

Sehingga dapat digunakan persamaan berikut untuk mengetahui gaya yang bekerja pada *blade* :

$$F_z = F_L \cos \theta - F_D \sin \theta \quad (10)$$

$$F_x = F_L \sin \theta + F_D \cos \theta \quad (11)$$

Sehingga dari persamaan teori *blade element momentum* dapat dinyatakan persamaan untuk *thrust* sebagai berikut :

$$T = F_L \cos \theta - F_D \sin \theta \quad (12)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} T &= \text{Thrust (N)} \\ \text{Flift} &= \text{Gaya Angkat (N)} \\ \text{Fdrag} &= \text{Gaya Gesek (N)} \\ &= \text{Sudut Pitch (deg)} \end{aligned}$$

Selain gaya dorong atau *thrust*, terdapat gaya yang bekerja pada *blade*, yaitu *torque* atau momen gaya. *Torque* adalah kemampuan puntir yang diberikan pada suatu benda (*propeller*), sehingga menyebabkan benda tersebut berputar pada sumbunya.[20] *Torque* dapat didefinisikan dengan hasil kali antara gaya (F) dengan lengan momennya, sehingga dapat dituliskan :

$$\tau = F \times r \quad (13)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} &= \text{Torque (Nm)} \\ r &= \text{Lengan Momen (m)} \\ F &= \text{Gaya (N)} \end{aligned}$$

Sehingga jika *torque* bekerja pada sebuah *blade*, maka berdasarkan persamaan teori *blade element momentum* dapat didefinisikan :

$$Q = (F_L \sin \theta + F_D \cos \theta) \times r \quad (14)$$

Dimana :

$$\begin{aligned} Q &= \text{Torque (Nm)} \\ r &= \text{Lengan Momen (m)} \\ \text{Flift} &= \text{Gaya Angkat (N)} \\ \text{Fdrag} &= \text{Gaya Gesek (N)} \\ &= \text{Sudut Pitch (deg)} \end{aligned}$$

## 2.7. Computational Fluid Dynamic (CFD)

*Computational Fluid Dynamic* (CFD) adalah metode analisa numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dinamika fluida. Sejak kemajuan besar

dalam hal kinerja komputer, metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) digunakan untuk memecahkan persamaan *Reynolds Averaged Navier-Stokes* (RANS) yang telah diterapkan untuk berbagai jenis *propeller*. [25]

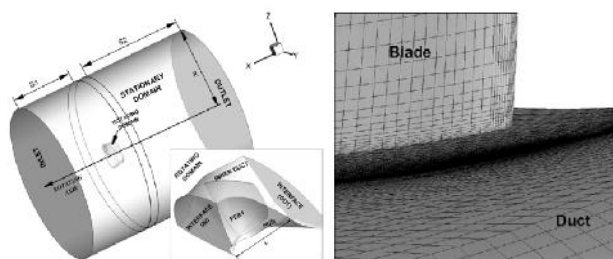
Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan mulai terkenal pada tahun 70-an, awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran fluida dan reaksi kimia, namun seiring dengan berkembangnya industri di tahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. [1] Contohnya sekarang ini banyak sekali paket-paket software CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress yang terjadi pada design yang dibuat. Pemakain CFD secara umum dipakai untuk memprediksi:

- Aliran dan panas.
- Transfer massa.
- Perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan.
- Reaksi kimia seperti pembakaran.
- Gerakan mekanis seperti piston dan fan.
- Tegangan dan tumpuan pada benda solid.
- Gelombang elektromagnet

Ada beberapa proses yang dilakukan dalam metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) , Adapun proses dalam *Computational Fluid Dynamic* (CFD) ada 3 bagian, yaitu :

### 2.5.1.Pre Processor

*PreProcessor* merupakan tahapan awal dalam *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang merupakan tahapan input data yang meliputi penentuan *domain* dan *boundary condition*. Pada tahapan ini juga dilakukan *meshing*, dimana benda yang dianalisa dibagi dalam jumlah *grid* tertentu.



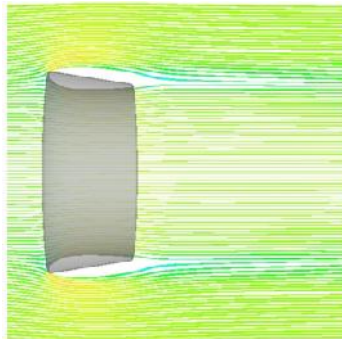
Gambar 2.14. Penentuan *Boundary Condition* dan *Meshing* [30]

### 2.5.2.Processor

Tahap selanjutnya adalah tahap *processor*, dimana pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iterative hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai *error* terkecil.

### 2.5.3.Post Processor

Tahap terakhir adalah tahap *post processor*, hasil dari perhitungan pada tahap *processor* akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi.



Gambar 2.15. Analisa Aliran pada CFD[7]

Adapun manfaat dari metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dibanding dengan metode-metode yang lain untuk menyelesaikan permasalahan permodelan *Fluid Dynamic* adalah sebagai berikut :

#### 2.5.3.1. Pengetahuan Mendalam

Dengan analisa CFD kita akan mudah mengetahui dan melihat data-data yang dibutuhkan untuk membuat produk yang efisien, parameter-parameter yang berpengaruh dan fenomena-fenomena fisika yang terjadi bahkan bisa dibilang jauh lebih mendalam dibandingkan dengan *prototype*.

#### 2.5.3.2. Prediksi Menyeluruh

Dengan simulasi CFD kita dapat mengubah parameter yang ada melihat hasilnya, mengubahnya lagi hingga didapat kondisi yang diinginkan sebelum dibuatnya protipe fisik. Jadi, dalam waktu yang sama kita dapat melakukan test dari model CFD yang kita buat, melihat hasilnya, dan mengubah variabel-variabel yang ada hingga didapatkan hasil yang optimal dan dalam waktu yang singkat

#### 2.5.3.3. Effisiensi

CFD adalah tools untuk mempersingkat siklus design dan pengembangan dari suatu produk. Sehingga didapatkan *design cycle* yang singkat, biaya yang murah dan waktu yang singkat yang akan berhubungan dengan efisiensi yang juga akan meningkat.

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1. Definisi Masalah**

Definisi masalah merupakan tahap awal dalam penulisan skripsi ini. Pendefinisian masalah dilakukan dengan cara menentukan tema yang akan dibahas pada skripsi ini, sehingga penulis menentukan bahasan tentang *ducted propeller* dan dispesifikkan lagi pada tipe *propeller K-Series*. Pada proses ini dilakukan identifikasi dan perumusan masalah tentang analisa bagaimana kinerja pada *ducted propeller* jenis *K-Series* dengan pemberian variasi berupa variasi penggunaan *nozzle* dan tip *clearance* dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Selain menggunakan variasi jenis *nozzle* dan jarak antara *nozzle* dan ujung *Propeller* / tip *clearance*, juga diberikan variasi Koefisien Advance (*J*). Sehingga akan didapatkan data kinerja *Propeller* berupa nilai *thrust* dan *torque*.

### **3.2. Studi Literatur**

Permasalahan tentang *ducted propeller* sudah didapatkan, maka tahap selanjutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini dilakukan studi literatur dengan tujuan untuk mendapatkan rangkuman dari dasar-dasar teori yang telah ada, acuan serta berbagai informasi yang dapat menjadi pendukung pada pengerjaan skripsi ini. Studi literatur ini dapat diperoleh dari buku, jurnal, paper atau dari internet. Selain dari sumber-sumber di atas, studi literatur dapat diperoleh dengan melakukan tanya jawab dengan pihak-pihak yang berkepentingan dan berkompeten pada bahasan skripsi ini. Bahasan yang akan dibahas pada studi literatur ini meliputi pembahasan tentang :

- *Propeller*
- *Ducted Propeller*
- *Nozzle*
- Karakteristik *Open Water*
- *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

Pembahasan tersebut guna untuk menunjang landasan dasar dari skripsi. Dimulai dari pembahasan umum *propeller* sampai dengan pembahasan secara khusus sesuai dengan tema yang diangkat, yaitu tentang *ducted propeller*. Kemudian dikhususkan kembali pada permasalahan yang diangkat, yaitu pembahasan tentang *nozzle* dan tip *clearance*, sehingga bisa menjadi penunjang untuk mengetahui bagaimana pengaruh dari varisai jenis *nozzle* dan besar tip *clearance* terhadap kinerja dari *propeller K-Series*.

### **3.3. Pembuatan Model**

Pembuatan model *propeller* dikerjakan dengan menggunakan *software CAD*. Model *ducted propeller* yang akan dibuat disesuaikan dengan batasan masalah yang sudah ditentukan di awal, yaitu :

- *Propeller* Jenis Kaplan 3 Blade
- Diameter 1 m

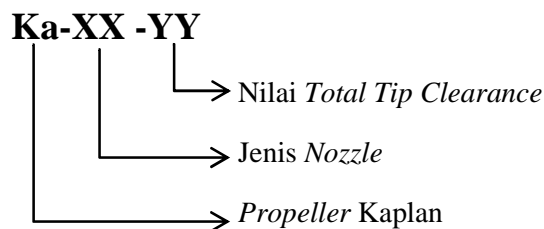


- $P/D = 0.6$
- $Ae/Ao = 0.65$
- Jenis *Duct* yang digunakan *Nozzle* 19A, 21, dan 23.
- Besar Total *Tip Clearance* yang digunakan = 20 mm, 40 mm dan 60 mm.
- Besar  $L_d/D$  0.5, 0.7, dan 0.9 sesuai dengan *nozzle*

Dimensi *propeller* tersebut merupakan spesifikasi *propeller* dengan kinerja yang terbaik dari penelitian sebelumnya. (Michalski,2007).[17] Sehingga menurut variasi *duct* dan *clearance* tersebut akan dibuat model sebanyak 9 model *propeller*. Pertama akan dibuat model *propeller* Kaplan/ *K-Series* sesuai dengan data-data yang sudah ditentukan. Tipe *propeller* yang digunakan merupakan hasil analisa terbaik dalam hal kinerja *propeller* dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Berikut adalah langkah-langkah dalam pembuatan model :

### 3.3.1. Penamaan Model

Dengan adanya variasi yang dibuat, maka dilakukan penamaan pada model yang dibuat untuk mempermudah dalam melakukan pembacaan dan pemahaman dalam mengidentifikasi model secara spesifik. Sehingga dibuat penamaan model sebagai berikut :



Contohnya adalah Ka-19A-20, maka dapat diidentifikasi bahwa model tersebut merupakan Propeller kaplan dengan jenis duct 19A dengan total clearance 20 mm.

### 3.3.2. Variasi Model

Pada penelitian skripsi ini dilakukan pemberian variasi pada variabel-variabel yang telah ditentukan di awal. Variabel tetap dari skripsi ini adalah propeller, dengan spesifikasi : jenis Kaplan, diameter 1 meter serta berbagai spesifikasi yang sudah ditentukan pada batasan masalah. Variable yang divariasikan tersebut adalah : nilai  $L_d/D$  dan total tip clearance antara ujung propeller dengan diameter dalam duct. Besar nilai  $L_d/D$  disesuaikan dengan jenis nozzle yang dipakai, yaitu :

Tabel 3.1. Variasi  $L_d/D$

Jenis <i>Nozzle</i>	$L_d/D$
19A	0.5
21	0.7

23	0.9
----	-----

Sedangkan untuk besar total clearance antara ujung propeller dengan diameter dalam duct yang divariasikan adalah 20 mm, 40 mm dan 60 mm.

### 3.3.3. Penggambaran Model

Dalam pengerjaan skripsi ini, terdapat dua jenis penggambaran geometri model, yaitu penggambaran geometri *propeller* Kaplan dan penggambaran geometri *duct*. Tahapan penggambaran geometri model yang pertama adalah penentuan koordinat model yang kemudian dilanjutkan dengan pemberian *surface* pada koordinat tersebut.

Sehingga berdasarkan batasan masalah serta penamaan model yang sudah ditentukan sebelumnya, maka didapatkan model yang harus dibuat seperti yang ditunjukkan oleh tabel di bawah ini:

Tabel 3.2. Nama Model

No.	Nama Model
1	Ka-19A-20
2	Ka-19A-40
3	Ka-19A-60
4	Ka-21-20
5	Ka-21-40
6	Ka-21-60
7	Ka-23-20
8	Ka-23-40
9	Ka-23-60

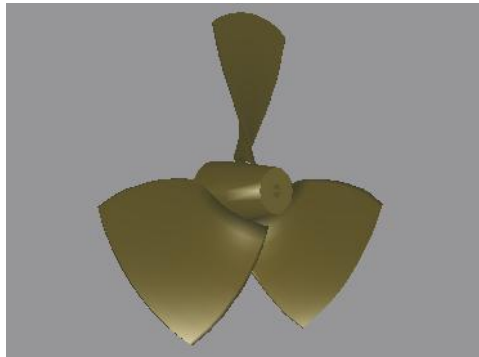
#### 3.3.3.1. Penggambaran Model *Propeller*

Pada proses ini dilakukan pembuatan model 3 dimensi berupa *propeller*. Pada proses pembuatan model geometri *propeller* ini menggunakan *software Computer Aided Design (CAD)*. *Software Computer Aided Design (CAD)* digunakan untuk membantu menyelesaikan permasalahan pada penelitian skripsi ini. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan geometri model *propeller* adalah sebagai berikut :

- a. Memasukkan data *propeller* yang akan dimodelkan ke dalam *software Computer Aided Design (CAD)*. Data *propeller* yang akan dimodelkan sesuai dengan batasan masalah yang sudah ditentukan sebelumnya, yaitu :
  - *Propeller* Jenis Kaplan 3 Blade
  - Diameter 1 m

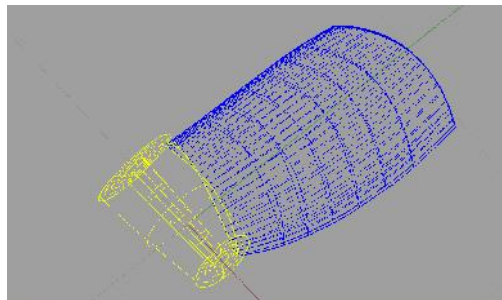
- $P/D = 0.6$
- $A_e/A_o = 0.65$

Data tersebut merupakan spesifikasi dari *propeller* dengan kinerja terbaik dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.



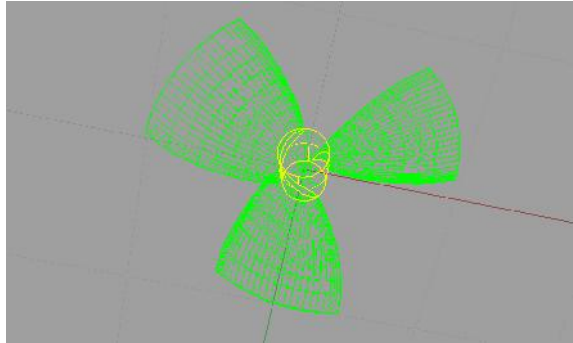
Gambar 3.16. Geometri *Propeller Ka-Series / Kaplan*

- b. Setelah dihasilkan koordinat dari *software Computer Aided Design (CAD)1*, maka pada *software Computer Aided Design (CAD)2* akan dilakukan penyempurnaan geometri model, meliputi :
  - Menyambungkan daun *propeller* dengan *boss propeller* dengan menggunakan perintah “*extend*” dan “*trim*”.



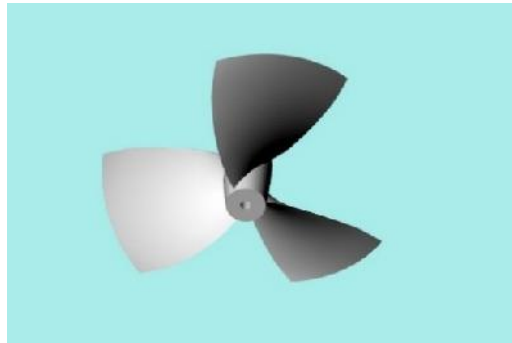
Gambar 3.17. Geometri Model dengan 1 *Blade*

- Membuat *propeller* menjadi 3 *blade* dengan menggunakan perintah “*polar array*”.



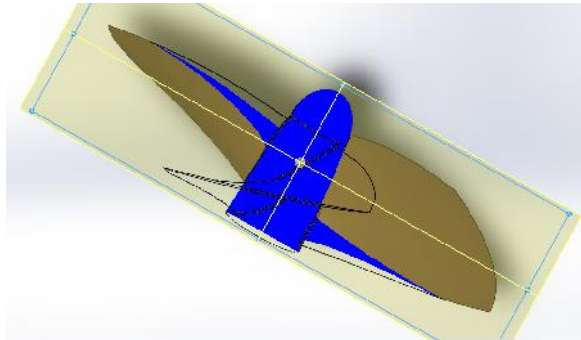
Gambar 3.18. Gemoteri Model dengan 3 *Blade*

- Menggabungkan 3 daun *propeller* dan *boss propeller* dengan perintah *join*, sehingga geometri model *propeller* menjadi *polysurface* atau *solid* dan bisa terbaca pada *software* analisis.



Gambar 3.19. Geometri Model dalam Bentuk *Solid*

- c. Setelah geometri model *propeller* selesai dikerjakan pada *software Computer Aided Design (CAD)2*, maka pada *software Computer Aided Design (CAD)3* akan dilakukan penyempurnaan geometri model *propeller*, yaitu penambahan *radius* pada sambungan antara *blade* dengan *boss propeller* dengan perintah “*fillet*” sebesar 10 mm serta penambahan *boss cap* pada *boss propeller*. Pada *software Computer Aided Design (CAD)3* ini pula dilakukan pengecekan bahwa geometri model *propeller* ini merupakan benda pejal atau *solid*.

Gambar 3.20. Irisan Geometri *Propeller*

### 3.3.3.2. Penggambaran Model Duct

Setelah proses penggambaran geometri model *propeller* selesai dilakukan sebelumnya, maka langkah selanjutnya adalah penggambaran geometri model *duct* atau *nozzle*. Data ordinat *nozzle* diperoleh dari referensi [5] . Data ordinat tersebut menampilkan persentase terhadap nilai  $L$  atau  $L_d$  (panjang *duct*). Nilai  $L_d$  (panjang *nozzle*) tersebut diperoleh dari nilai  $L_d/D$  yang divariasikan menurut jenis *nozzle* yang dipakai.

Tabel 3.3. Data Ordinat *Nozzle* 19A - 24

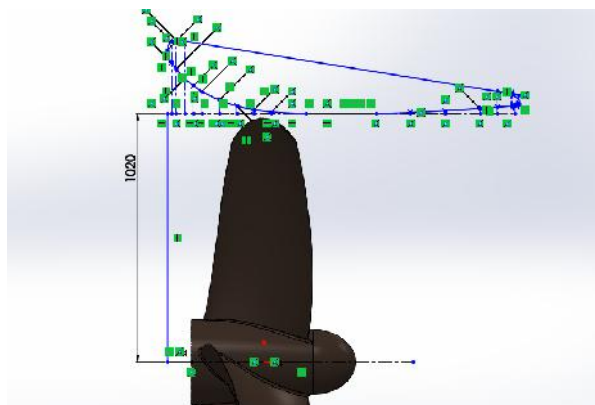
$x/L$	$y_i/L$	$y_u/L$
0	18.25	-
1.25	14.66	20.72
2.5	12.8	21.07
5	10.07	20.80
7.5	8.0	Straight Line
10	6.34	
15	3.87	
20	2.17	
25	1.1	
30	0.48	
40	0	
50	0	
60	0	
70	0.29	
80	0.82	
90	1.45	
95	1.86	6.36
100	2.36	-

Pada proses penggambaran geometri *duct* diperlukan nilai  $L_d$  yang didapat dari nilai  $L_d/D$  sehingga akan didapatkan koordinat *nozzle*. Oleh karena itu harus diperoleh nilai  $D$  (diameter dalam *duct*) dengan menentukan diameter *propeller* ditambah dengan nilai clearance

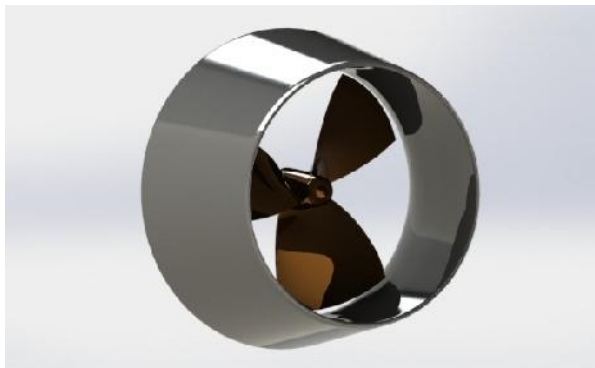
berdasarkan variasi yang telah ditentukan sebelumnya. Sehingga jika nilai  $L_d/D$  dan nilai  $D$  (diameter dalam *duct*) dikalikan, maka akan didapatkan nilai  $L_d$  yang digunakan untuk membuat koordinat dari *nozzle*. Pada table berikut merupakan salah satu contoh koordinat *nozzle* pada model Ka-21-40 :

Tabel 3.4. Koordinat *Nozzle* Model Ka-21-40

X (mm)	Yi (mm)	Yo (mm)
0	260.61	0
17.85	209.3448	295.8816
35.7	182.784	300.8796
71.4	143.7996	297.024
107.1	114.24	Straight Line
142.8	90.5352	
214.2	55.2636	
285.6	30.9876	
357	15.708	
428.4	6.8544	
571.2	0	
714	0	
856.8	0	
999.6	4.1412	
1142.4	11.7096	
1285.2	20.706	
1356.6	26.5608	90.8208
1428	33.7008	0



Gambar 3.21. Penggambaran *Nozzle*



Gambar 3.22. *Propeller* dengan *Nozzle* 21 (Ka-21-40)

Sehingga berdasarkan batasan masalah dan variasi yang ditentukan, dibuat 9 geometri model *ducted propeller*. Gambar geometri model terlampir.

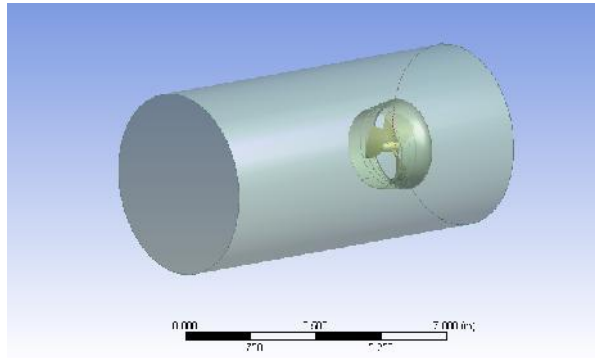
Model yang sudah dibuat akan *dimeshing* pada *Software CFD* dengan besar meshing disesuaikan dengan bentuk dari model. Pada bagian blade dari *propeller* besar meshing lebih kecil daripada meshing yang diberikan pada *duct*. Kemudian akan dilanjutkan dengan pemberian batasan atau *boundary condition*.

### 3.4. Simulasi / *Running Model*

Setelah pembuatan model sampai pemberian *boundary* selesai dikerjakan, maka langkah selanjutnya adalah pengujian model atau *running*. Pengujian model dilakukan dengan memberikan kecepatan aliran pada masing-masing sudut dari *propeller*, kecepatan aliran tersebut disesuaikan dengan nilai variasi koefisien *Advance (J)*, variasi koefisien advance (J) sudah ditetapkan pada batasan masalah sebelumnya, yaitu 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1 dan 1.2. Masing-masing model akan *dirunning* pada masing-masing kecepatan aliran sesuai dengan koefisien advance, sehingga *running* untuk satu model sebanyak 10 kali sesuai dengan jumlah variasi koefisien advance (J). Sehingga pengujian atau *running* yang dilakukan pada skripsi ini sebanyak 90 kali. Pengujian terhadap model ini bertujuan untuk mengetahui nilai *thrust* dan *torque* dari *propeller* akibat adanya variasi-variasi yang diberikan. Berikut adalah langkah dalam simulasi model :

#### 3.4.1. Penentuan Batasan Pada Model

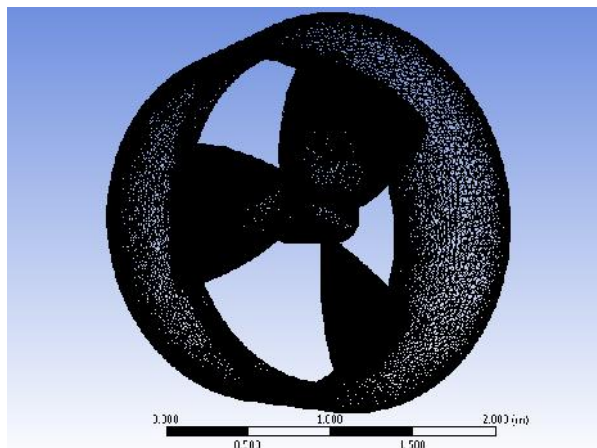
Penentuan batasan merupakan salah satu persyaratan agar geometri model yang sudah dibuat dapat disimulasikan pada *software CFD*. Penentuan batasan ini meliputi mendefinisikan geometri untuk *inlet*, *wall* serta *outlet*. Pendefinisian geometri batasan tersebut diperuntukkan sebagai *domain* fluida air yang akan mengalir melewati geometri model *ducted propeller*. Pembuatan batasan ini dilakukan pada *software CFD*.



Gambar 3.23. Penggambaran *Domain Fluid*

### 3.4.2. *Meshing*

*Meshing* merupakan suatu proses pembagian geometri model menjadi elemen-elemen dan *node-node* yang lebih kecil. Pada proses pengujian model dengan software CFD, setiap elemen-elemen tersebut yang akan diberikan perhitungan oleh *software* CFD. Besar *meshing* pada *propeller* lebih kecil / detail dari pada *domain* yang lain, sehingga sehingga didapatkan hasil yang lebih bagus.



Gambar 3.24. Hasil *Meshing*

### 3.4.3. Penentuan *Boundary Condition*

Pada tahap ini merupakan tahap pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition* yang dibuat untuk mengetahui karakteristik dari model dan fluida yang bekerja, sehingga mendekati dengan kondisi sebenarnya. Pada tahap pendefinisian *boundary condition* ini meliputi pendefinisian *domain fluid* dan *domain solid*.



Pendefinisian *domain fluid* atau fluida meliputi pendefinisian *inlet*, *outlet* dan *wall*. Berikut adalah salah satu pendefinisian *boundary condition* pada *domain fluid* pada salah satu model Ka-19A-20 .

Tabel 3.5. Pendefinisian *Domain Fluida*

<i>Domain</i>	<i>Boundaries</i>
<i>Fluid</i>	<i>Boundary - Inlet</i>
	<i>Type</i> <i>INLET</i>
	<i>Location</i> <i>Inlet</i>
	<i>Settings</i>
	<i>Flow Direction</i> <i>Normal to Boundary Condition</i>
	<i>Flow Regime</i> <i>Subsonic</i>
	<i>Heat Transfer</i> <i>Static Temperature</i>
	<i>Static Temperature</i> <i>2.9700e+02 [K]</i>
	<i>Mass And Momentum</i> <i>Mass Flow Rate</i>
	<i>Mass Flow Rate</i> <i>2.0961e+04 [kg s<sup>-1</sup>]</i>
	<i>Mass Flow Rate Area</i> <i>As Specified</i>
	<i>Turbulence</i> <i>Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio</i>
	<i>Boundary - Outlet</i>
	<i>Type</i> <i>OUTLET</i>
	<i>Location</i> <i>Outlet</i>
	<i>Settings</i>
	<i>Flow Regime</i> <i>Subsonic</i>
	<i>Mass And Momentum</i> <i>Static Pressure</i>
	<i>Relative Pressure</i> <i>1.0000e+00 [atm]</i>
	<i>Boundary - Wall</i>

	Type	WALL
	Location	F311.309, F313.309, F314.309, F315.309, F316.309, F317.309, F318.309, F319.309, F320.309, F321.309, F322.309, F323.309, F324.309, F325.309, F326.309, F327.309, F328.309, F329.309, F330.309, F331.309, F332.309, F333.309, F334.309, F335.309, F336.309, F337.309, F338.309, F339.309, F340.309, F341.309, F342.309, F343.309, F344.309, F345.309, F346.309
	Settings	
	Heat Transfer	Adiabatic
	Mass And Momentum	No Slip Wall
	Wall Roughness	Smooth Wall
	Type	Fluid
	Location	B309
	Materials	
	Water	
	Fluid Definition	Material Library
	Morphology	Continuous Fluid
	Settings	
	Buoyancy Model	Non Buoyant
	Domain Motion	Stationary
	Reference Pressure	1.0000e+00 [atm]
	Heat Transfer Model	Total Energy
	Include Viscous Work Term	Off
	Turbulence Model	k epsilon
	Scalable	
	High Speed Model	Off

Sedangkan pendefinisian *boundary condition* pada *domain solid* dibagi menjadi dua, yaitu *domain kaplan* dan *domain duct*. Pada *domain kaplan* didefinisikan sebagai *domain solid* yang berputar atau *rotating* dengan kecepatan putaran sebesar 600 rpm 62.831 rad/s [17]. Sedangkan pada *domain duct* didefinisikan sebagai *domain solid* yang diam atau *stationary*. Berikut adalah contoh pendefinisian *domain solid* pada model Ka-19A-20.

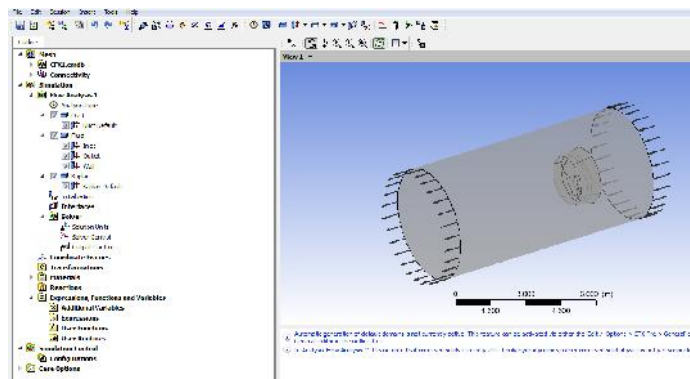
Tabel 3.6. Pendefinisian *Domain Duct*

Domain	Boundaries
Duct	Boundary - Duct Default
	Type WALL
	Location F25.24, F26.24, F27.24, F28.24, F29.24, F30.24, F31.24, F32.24
	Settings
	Type Immersed Solid
	Location B24
	Settings
	Domain Motion Stationary

Tabel 3.7. Pendefinisian *Domain Kaplan*

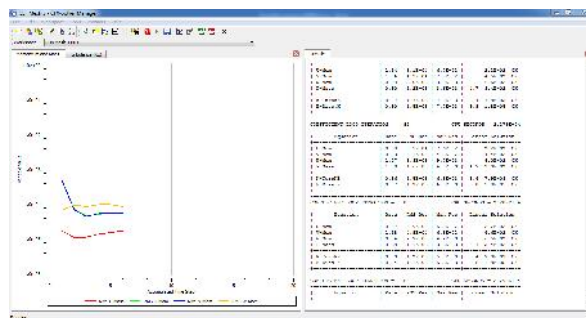
Domain	Boundaries
Kaplan	Boundary - Kaplan Default
	Type WALL
	Location F124.123, F125.123, F126.123, F127.123, F128.123, F129.123, F130.123, F131.123, F132.123, F133.123, F134.123, F135.123, F136.123, F137.123, F138.123, F139.123, F140.123, F141.123, F142.123, F143.123, F144.123, F145.123, F146.123, F147.123, F148.123, F149.123
	Settings
	Type Immersed Solid
	Location B123

Settings	
Domain Motion	Rotating
Angular Velocity	6.2830e+01 [radian s <sup>-1</sup> ]
Axis Definition	Coordinate Axis
Rotation Axis	Coord 0.3

Gambar 3.25. Proses pendefinisian *boundary condition*

### 3.4.4. Simulasi / Running

Geometri model yang telah selesai diberikan pendefinisian *boundary condition* selanjutnya dapat dilakukan proses simulasi atau running dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Proses simulasi ini menggunakan *software* CFX-solver, sehingga dengan pengaturan *boundary condition* yang telah dilakukan, *solver* berjalan dan membaca persamaan-persamaan dari simulasi yang dilakukan dan didapatkan *output parameter* yang dicari dengan tepat.



Gambar 4.26. Tampilan CFX-Solver

### 3.4.5. Validasi

Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah dilakukan. Hal ini dilakukan untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik. Validasi terhadap elemen yang paling efektif agar data yang dihasilkan valid, sehingga dilakukan validasi terhadap elemen *meshing* dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 3.8. Hasil validasi elemen *meshing*

Mesh	Total Elemen	Torsi (Face)
Coarse	4190678	1016.31 Nm
Medium	4946891	1177.48 Nm
Fine	5251435	1189.42 Nm

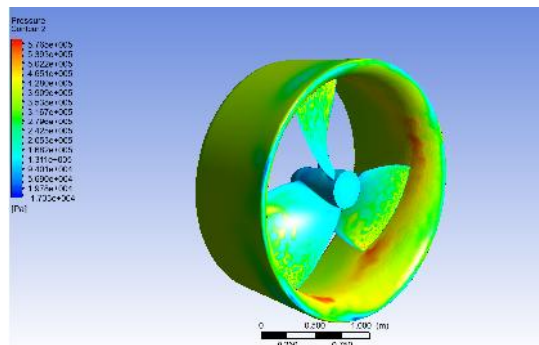
Sehingga dari hasil validasi elemen *meshing* diatas, pada *meshing* tipe *medium* dan *fine* mempunyai selisih yang tidak terlalu jauh, sehingga dipilih pengaturan *medium* untuk *meshing*.

Validasi juga dilakukan pada hasil analisa dengan membandingkan hasil analisa yang sudah dilakukan dengan hasil penelitian sebelumnya. Hasil penelitian tersebut yang akan menjadi acuan validasi. Sehingga hasil analisa harus memiliki selisih yang tidak terlalu jauh atau mendekati dengan hasil analisa pada penelitian sebelumnya.

### 3.5. Pencatatan Data Kinerja *Propeller*

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data hasil pengujian. Data yang dibutuhkan dapat diambil melalui *CFX-Post* dengan menu *function calculator*. Dari *CFX-Post* ini dapat diambil kontur tekanan pada geometri model, *streamline* kecepatan aliran, gaya gesek serta torsi yang terdapat di geometri model. Data-data tersebut diperlukan untuk perhitungan kinerja *propeller* pada bab analisa data.

Salahsatu hasil dari simulasi adalah kontur tekanan pada model Ka-19A-20.



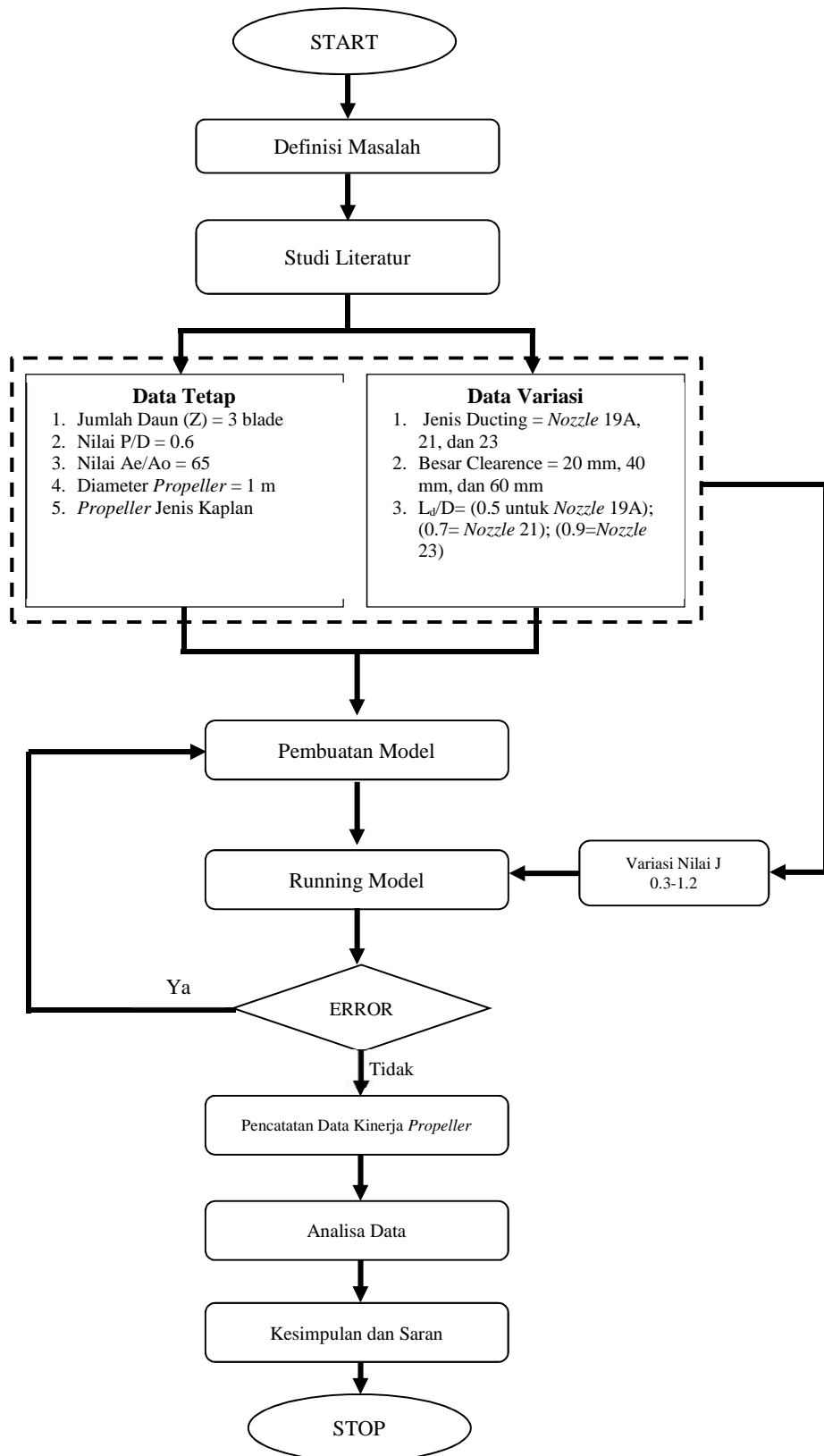
Gambar 4.27. Kontur tekanan pada geometri model Ka-19A-20

### 3.6. Kesimpulan

Setelah melakukan analisa terhadap data yang diperoleh, maka selanjutnya akan dapat ditarik kesimpulan dari analisa data tersebut, serta memberikan saran-saran atau rekomendasi yang dapat menunjang untuk dilakukan penelitian di waktu yang akan datang.

### 3.7. Diagram Alir

Untuk menyelesaikan masalah diatas akan digunakan metode *Computational Fluid Dynamics*. Desain eksperimen dapat dilihat dalam *flow chart* dibawah :



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Rekapitulasi Model Simulasi

Sebelum dilakukannya analisa data, maka harus dilakukan rekapitulasi simulasi yang dilakukan terhadap model yang telah dibuat. Sehingga berdasarkan jumlah model dan variasi *koefisien advance* (J), maka jumlah simulasi yang dilakukan adalah :

Tabel 4.9. Rekapitulasi Simulasi Model

No.	Nama Model	Koefisien Advance (J)									
		0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
1	Ka-19A-20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	Ka-19A-40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	Ka-19A-60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	Ka-21-20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	Ka-21-40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6	Ka-21-60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7	Ka-23-20	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Ka-23-40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	Ka-23-60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### 4.2. Pengambilan Data

Dari semua model yang telah disimulasikan , maka dapat dilakukan pengambilan data yang diperlukan untuk melakukan analisa data pada skripsi ini, sehingga didapatkan data kinerja dari model *propeller* yang diuji. Data-data tersebut diambil pada geometri model bagian face dan back, data-data tersebut meliputi

- Luasan / *Area* (m<sup>2</sup>)
- Tekanan / *Pressure* (Pa)
- Tegangan Geser / *Wall Shear* (Pa)
- Torsi / *Torque* (Nm)

Hasil pengambilan data pada hasil simulasi pada masing-masing geometri model terlampir.

### 4.3. Pengolahan Data

Berdasarkan tujuan yang sudah dibuat di awal, yaitu mencari kinerja pada *propeller Ka-Series*, maka harus dilakukan pengolahan data terhadap data yang sudah diambil dari hasil simulasi yang dilakukan. Berikut adalah tahapan pengolahan data hasil simulasi terhadap geometri model yang disimulasikan :



#### 4.3.1. Menentukan Nilai Gaya Angkat / *Force Lift*

Berdasarkan persamaan (9) yang sudah disebutkan di atas, maka untuk mencari nilai gaya angkat / *Force Lift* menggunakan rumus

$$F_{li} = P \times A$$

Dimana :

$F$  = *Force Lift* (N)

$P$  = *Pressure* (Pa)

$A$  = Luas Area (m<sup>2</sup>)

Sehingga untuk perhitungan nilai gaya angkat / *Force Lift* adalah sebagai berikut :

- Pada sisi face

$$\begin{aligned} F_f &= P_f \times A_f \\ &= 88403.9 \times 0.449 \\ &= 44113.546 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada sisi back

$$\begin{aligned} F_b &= P_b \times A_b \\ &= 29008.3 \times 0.506 \\ &= 14678.2 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka didapatkan resultan gaya angkat / *Force Lift* sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_{li} &= F_f - F_b \\ &= 44113.546 - 14678.2 \\ &= 29435.346 \text{ N} \end{aligned}$$

#### 4.3.2. Menentukan Nilai Gaya Gesek / *Force Drag*

Menurut persamaan (8), maka nilai gaya gesek / *force drag* dapat dicari dengan rumus :

$$F_d = \tau \times A$$

Dimana :

$F$  = *Force Drag* (N)

$\tau$  = *Wallshear* (Pa)

$A$  = Luas Area (m<sup>2</sup>)

Data *wallshear* dan luas permukaan didapatkan menggunakan *function calculator* terhadap hasil simulasi dari geometri model. Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai gaya gesek / *force drag* :

- Pada sisi face

$$\begin{aligned} F_f &= \tau_f \times A_f \\ &= 263.321 \times 0.499 \\ &= 131.397 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada sisi back

$$F_b = \tau_b \times A_b$$

$$= 506.904 \times 0.506$$

$$= 256.493 \text{ N}$$

Sehingga resultan gaya gesek / *force drag* dapat didefinisikan :

$$F_d = F_f - F_b$$

$$= 131.397 - 256.493$$

$$= 125.096 \text{ N}$$

#### 4.3.3. Menentukan Nilai Gaya Dorong / *Thrust*

Dalam menentukan nilai thrust maka harus diketahui nilai sudut pitch dengan menggunakan nilai P/D yang sudah ditentukan sebelumnya. Maka berdasarkan nilai tersebut didapatkan sudut pitch sebesar :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P}{D}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P/D}{0.7\pi} \left( \theta \text{ di hitung } p = 0.7^r/R \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0.6}{0.7\pi}$$

$$\theta = 15.276^\circ$$

Maka dapat didefinisikan persamaan untuk mencari nilai gaya dorong atau *thrust* sesuai dengan persamaan (12) :

$$T = F_L \cos \theta - F_D \sin \theta$$

$$= 29435.346 \times \cos 15.27^\circ - 125.096 \times \sin 15.27^\circ$$

$$= 28362.36 \text{ N}$$

$$= 28.362 \text{ k}$$

#### 4.3.4. Menentukan Nilai Torsi / *Torque*

Nilai torsi atau *torque* didapatkan melalui *function calculator* terhadap hasil simulasi dari geometri model. Maka nilai torsi / *torque* didapatkan :

$$Q = Q_f - Q_b$$

$$= -2680.7 - 1026.67$$

$$= -3707.37 \text{ N (a h t i - Z)}$$

$$= 3.707 \text{ kl}$$

#### 4.3.5. Menentukan Nilai Efisiensi *Propeller*

Nilai efisiensi dari *propeller* dapat diketahui dengan persamaan (5), yaitu :

$$\eta_o = \frac{TV_a}{2\pi} \frac{28362.36 \times 3}{2 \times 3.14 \times 10 \times 3707.37}$$

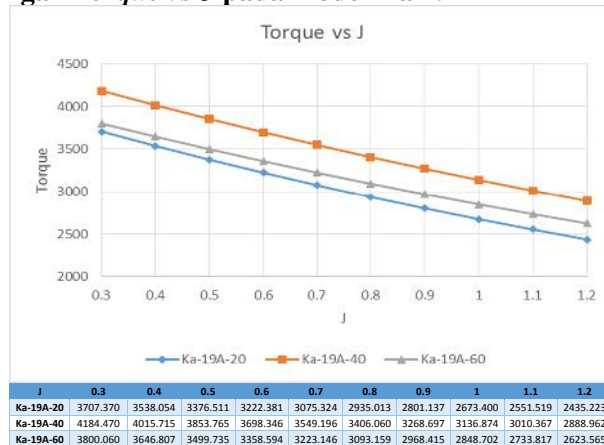
$$= 0.365$$

### 4.4. Pembahasan

Data-data hasil simulasi yang sudah diolah menjadi torsi, gaya dorong dan efisiensi, maka akan diplotkan dalam bentuk grafik. Sehingga dapat disimpulkan bagaimana karakteristik dari masing-masing model yang disimulasikan.

#### 4.4.1. Perbandingan Nilai *Torque* dan *Thrust* pada Variasi *Tip Clearance*

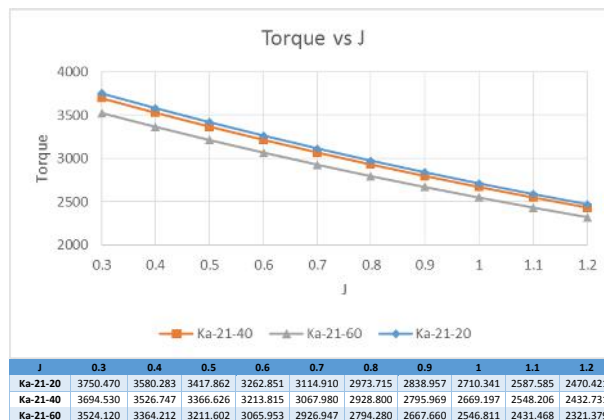
- Perbandingan *Torque* vs *J* pada model Ka-19A



Gambar 4.28. Grafik hubungan *Torque* dengan *J* pada model Ka-19A

Dari grafik diatas bisa dilihat pada masing-masing model (Ka-19A-20, Ka-19A-40 dan Ka-19A-60) nilai torsi / *torque* yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*), dengan nilai torsi yang tertinggi terdapat pada model Ka-19A-40 sebesar 4.184 kNm pada *J* 0.3 .

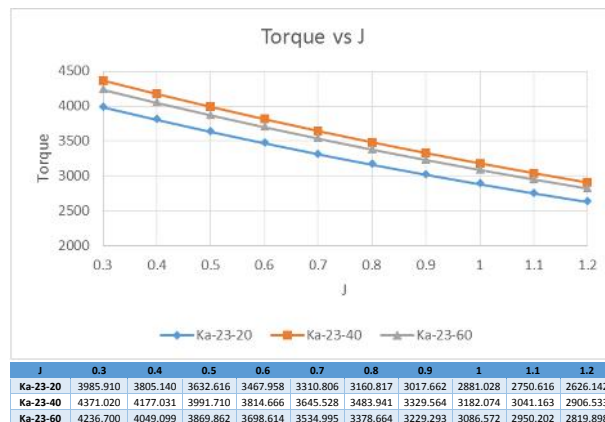
- Perbandingan *Torque* vs *J* pada model Ka-21



Gambar 4.29. Grafik hubungan *Torque* dengan *J* pada model Ka-21

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa torsi mengalami penurunan pada semua model (Ka-21-20, Ka-21-40 dan Ka-21-60) seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*). Nilai torsi terbesar dari ketiga model terdapat pada model Ka-21-20 sebesar 3.75 kNm pada *J* 0.3 .

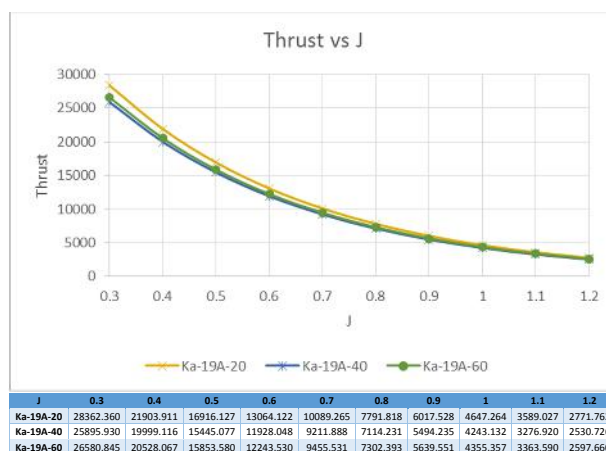
- Perbandingan *Torque* vs *J* pada model Ka-23



Gambar 4.30. Grafik hubungan *Torque* dengan *J* pada model Ka-23

Dari grafik perbandingan torsi dan koefisien *advance* (*J*) dapat disimpulkan bahwa nilai torsi pada model Ka-23-20, Ka-23-40 dan Ka-23-60 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*). Sedangkan untuk nilai torsi terbesar terdapat pada model Ka-23-40 dengan nilai torsi sebesar 4.371 kNm pada *J* 0.3 .

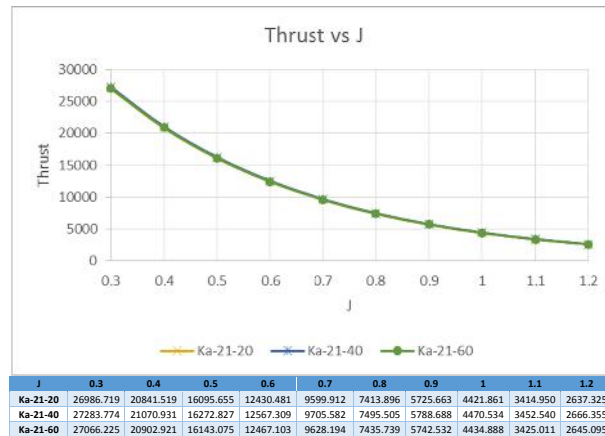
- Perbandingan *Thrust* vs *J* pada model Ka-19A



Gambar 4.31. Grafik hubungan *Thrust* dengan *J* pada model Ka-19A

Dari grafik diatas bisa dilihat pada masing-masing model (Ka-19A-20, Ka-19A-40 dan Ka-19A-60) nilai gaya dorong / *thrust* yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*). nilai gaya dorong / *thrust* terbesar terdapat pada model Ka-19A-20 pada *J* 0.3 sebesar 28.362 kN.

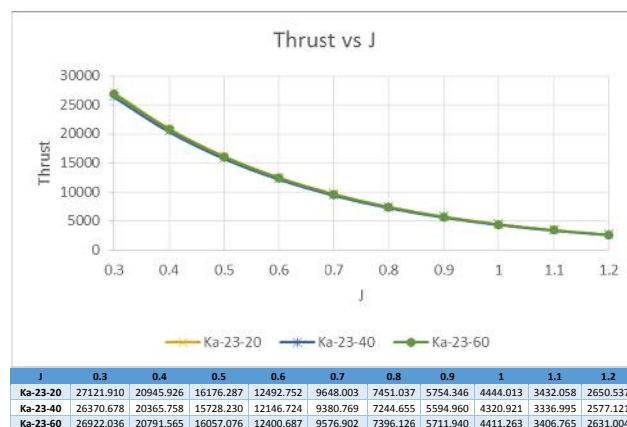
- **Perbandingan *Thrust* vs *J* pada model Ka-21**



Gambar 4.32. Grafik hubungan *Thrust* dengan *J* pada model Ka-21

Pada grafik gaya dorong / *thrust* hasil simulasi diatas, dapat diketahui bahwa pada masing-masing model (Ka-21-20, Ka-21-40 dan Ka-21-60) nilai gaya dorong / *thrust* mengalami penurunan seiring dengan naiknya nilai koefisien *advance* (*J*). Nilai gaya dorong / *thrust* terbesar terdapat pada model Ka-21-40 pada *J* 0.3 sebesar 27.283 kN.

- **Perbandingan *Thrust* vs *J* pada model Ka-23**

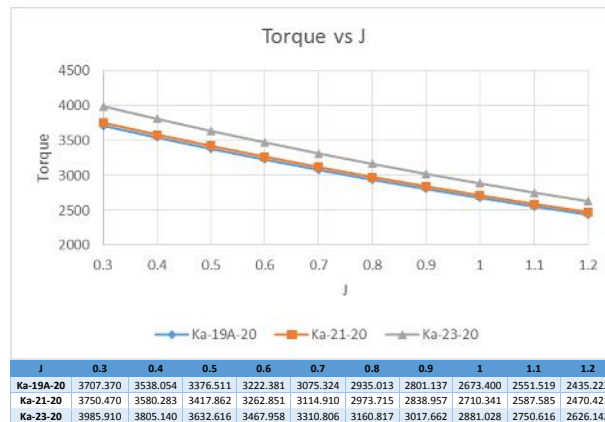


Gambar 4.33. Grafik hubungan *Thrust* dengan *J* pada model Ka-23

Grafik gaya dorong / *thrust* diatas menunjukkan bahwa pada masing-masing model Ka-23 mengalami penurunan nilai gaya dorong / *thrust* seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*). Nilai gaya dorong / *thrust* terbesar terdapat pada model Ka-23-20 dengan nilai sebesar 27.121 kN pada *J* 0.3 .

#### 4.4.2. Perbandingan Nilai *Torque* dan *Thrust* pada Varisai $L_d/D$

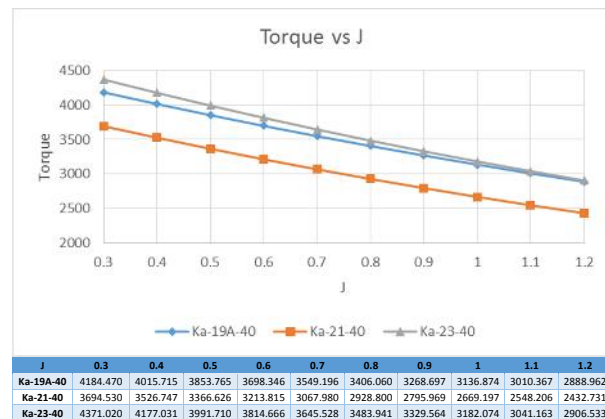
- Perbandingan *Torque* vs  $J$  pada total tip clearance 20 mm



Gambar 4.34. Grafik hubungan *Torque* dengan  $J$  pada model tip clearance 20 mm

Dari grafik perbandingan torsi terhadap koefisien *advance* ( $J$ ) pada model tip clearance 20 mm (Ka-19A-20, Ka-21-20 dan Ka-23-20) dapat dilihat bahwa nilai torsi turun seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* ( $J$ ). Nilai torsi terbesar terdapat pada model Ka-23-20 dengan nilai torsi sebesar 3.985 kNm pada  $J$  0.3 .

- Perbandingan *Torque* vs  $J$  pada total tip clearance 40 mm

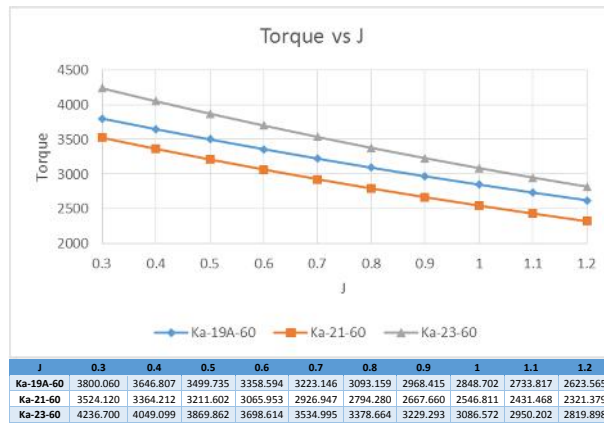


Gambar 4.35. Grafik hubungan *Torque* dengan  $J$  pada model tip clearance 40 mm

Grafik di atas menunjukkan perbandingan torsi terhadap koefisien *advance* ( $J$ ) pada model tip clearance 40 mm (Ka-19A-40, Ka-21-40 dan Ka-23-40). Dari grafik di atas dapat dilihat penurunan nilai torsi pada masing-masing model seiring dengan bertambahnya nilai koefisien

*advance* (J). Nilai torsi terbesar terdapat pada model Ka-23-40 dengan nilai torsi sebesar 4.371 kNm.

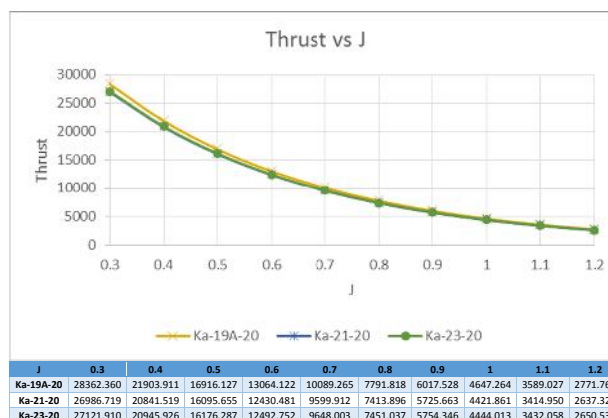
- Perbandingan *Torque vs J* pada total *tip clearance* 60 mm



Gambar 4.36. Grafik hubungan *Torque* dengan J pada model tip clearance 60 mm

Grafik di atas menunjukkan perbandingan nilai torsi terhadap koefisien *advance* (J) pada model tip clearance 60 mm (Ka-19A-60, Ka-21-60 dan Ka-23-60). Dari grafik tersebut di atas dapat dilihat bahwa nilai torsi pada masing-masing model mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (J). Nilai torsi terbesar terdapat pada model Ka-23-60 dengan nilai torsi sebesar 4.236 kNm pada J 03

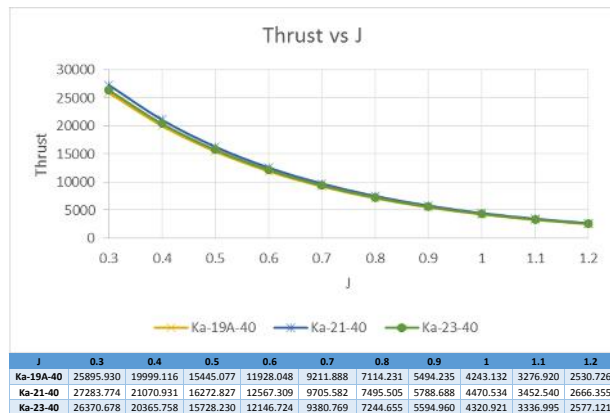
- Perbandingan *Thrust vs J* pada total *tip clearance* 20 mm



Gambar 4.37. Grafik hubungan *Thrust* dengan J pada model tip clearance 20 mm

Grafik perbandingan gaya dorong / *thrust* terhadap koefisien *advance* (J) pada model tip clearance 20 mm (Ka-19A-20, Ka-21-20 dan Ka-23-20) dapat dilihat bahwa gaya dorong / *thrust* turun seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (J). Nilai gaya dorong / *thrust* terbesar terdapat pada model Ka-19A-20 dengan nilai gaya dorong / *thrust* pada J 0.3 sebesar 28.362 kN.

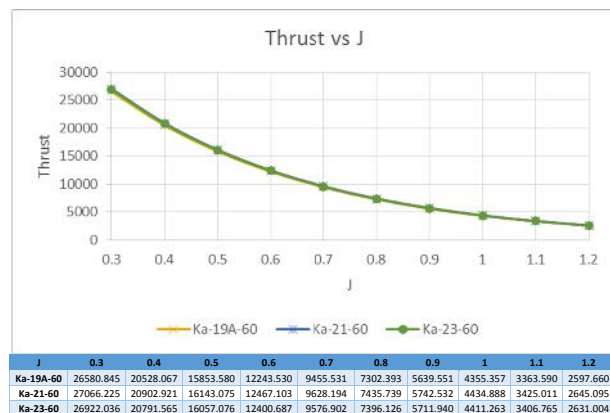
- **Perbandingan *Thrust* vs J pada total tip clearance 40 mm**



Gambar 4.38. Grafik hubungan *Thrust* dengan J pada model tip clearance 40 mm

Pada grafik gaya dorong / *thrust* hasil simulasi diatas, dapat diketahui bahwa pada masing-masing model tip clearance 40 mm (Ka-19A-40, Ka-21-40 dan Ka-23-40) nilai gaya dorong / *thrust* mengalami penurunan seiring dengan naiknya nilai koefisien *advance* (J). Nilai gaya dorong / *thrust* terbesar terdapat pada model Ka-21-40 pada J 0.3 sebesar 27.283 kN.

- **Perbandingan *Thrust* vs J pada total tip clearance 60 mm**



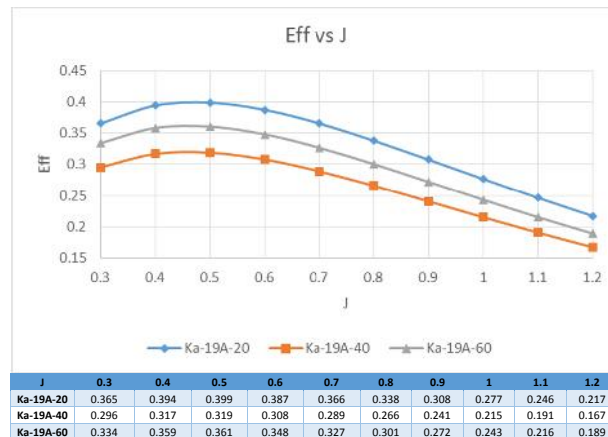
Gambar 4.39. Grafik hubungan *Thrust* dengan J pada model tip clearance 60 mm



Grafik di atas menunjukkan perbandingan gaya dorong / *thrust* terhadap koefisien *advance* (J) pada model tip clearance 60 mm (Ka-19A-60, Ka-21-60 dan Ka-23-60). Dari grafik di atas dapat dilihat penurunan nilai gaya dorong / *thrust* pada masing-masing model seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (J). Nilai gaya dorong / *thrust* terbesar terdapat pada model Ka-21-60 dengan nilai gaya dorong / *thrust* sebesar 27.066 kN.

#### 4.4.3. Perbandingan Nilai Efisiensi Propeller pada Variasi *Tip Clearance*

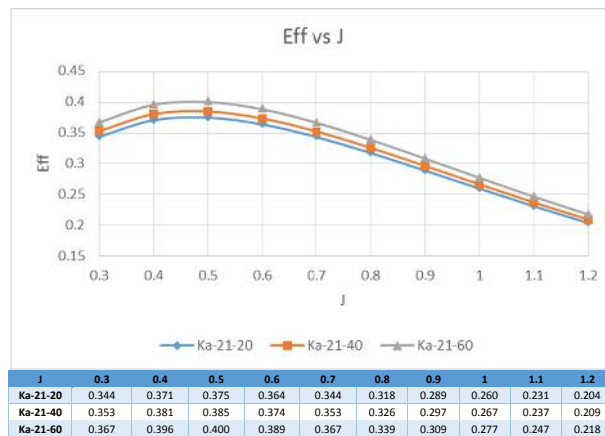
##### Ñ Perbandingan *Efficiency* vs *J* pada model Ka-19A



Gambar 4.40. Grafik hubungan *Efficiency* dengan *J* pada model Ka-19A

Dari grafik diatas bisa dilihat pada masing-masing model (Ka-19A-20, Ka-19A-40 dan Ka-19A-60) nilai efisiensi propeller yang dihasilkan mengalami kenaikan sampai J 0.5, dan kemudian mengalami penurunan pada J 0.6 sampai 1.2 seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (J). Nilai efisiensi terbesar terdapat pada model Ka-19A-20 pada J 0.5 sebesar 0.399.

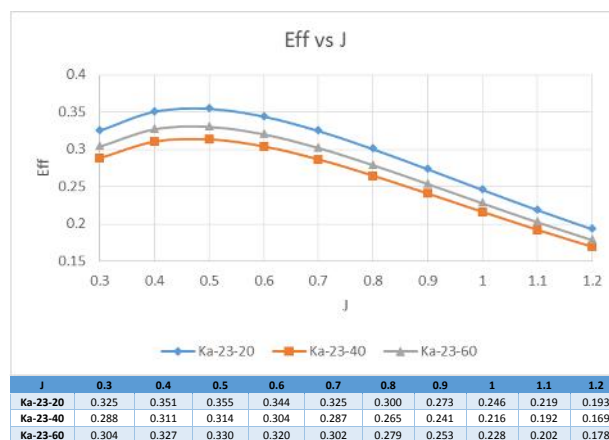
### Ñ Perbandingan *Efficiency* vs *J* pada model Ka-21



Gambar 4.41. Grafik hubungan *Efficiency* dengan *J* pada model Ka-21

Grafik di atas menunjukkan nilai efisiensi propeller dibandingkan terhadap koefisien *advance* (*J*). Dari grafik tersebut di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi pada masing-masing model (Ka-21-20, Ka-21-40 dan Ka-21-60) mengalami kenaikan sampai *J* 0.5, kemudian mengalami penurunan mulai *J* 0.6 sampai dengan *J* 1.2 seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*). Efisiensi tertinggi terdapat pada model Ka-21-60 pada *J* 0.5 dengan nilai efisiensi sebesar 0.400.

### Ñ Perbandingan *Efficiency* vs *J* pada model Ka-23



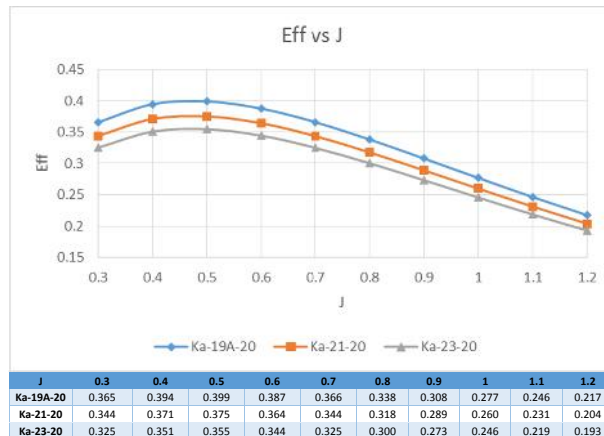
Gambar 4.42. Grafik hubungan *Efficiency* dengan *J* pada model Ka-23

Grafik efisiensi terhadap koefisien *advance* (*J*) pada model (Ka-23-20, Ka-23-40 dan Ka-23-60) di atas menunjukkan bahwa nilai efisiensi pada masing-masing model mengalami kenaikan nilai efisiensi sampai *J* 0.5 dan kemudian mengalami penurunan pada *J* 0.6

sampai dengan 1.2 . Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada model Ka-23-20 dengan nilai efisiensi sebesar 0.355.

#### 4.4.4. Perbandingan Nilai Efisiensi Propeller pada Varisai $L_d/D$

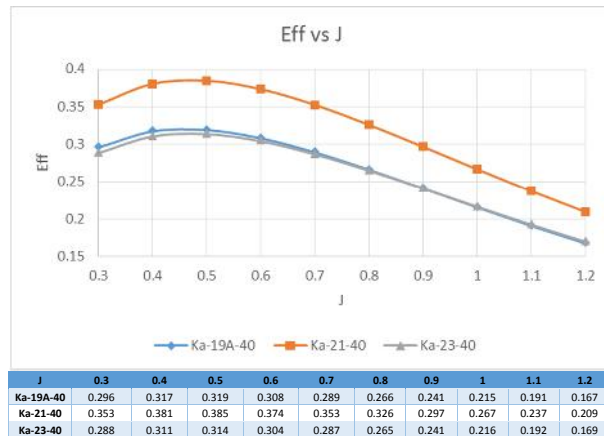
- Perbandingan *Efficiency* vs  $J$  pada total *tip clearance* 20 mm



Gambar 4.43. Grafik hubungan *Efficiency* dengan  $J$  pada model tip clearance 20 mm

Grafik di atas menunjukkan nilai efisiensi propeller berbanding koefisien *advance* ( $J$ ). Dari grafik tersebut di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi pada masing-masing model tip clearance 20 mm (Ka-19A-20, Ka-21-20 dan Ka-23-20) mengalami kenaikan sampai dengan  $J$  0.5, kemudian mengalami penurunan mulai  $J$  0.6 sampai dengan  $J$  1.2 seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* ( $J$ ). Efisiensi tertinggi terdapat pada model Ka-19A-20 pada  $J$  0.5 dengan nilai efisiensi sebesar 0.399.

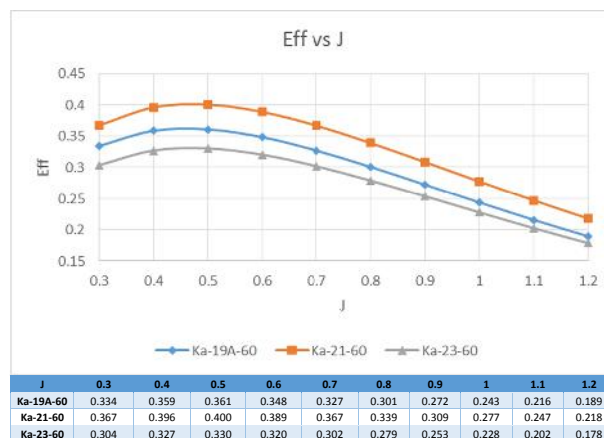
- Perbandingan *Efficiency* vs *J* pada total *tip clearance* 40 mm



Gambar 4.44. Grafik hubungan *Efficiency* dengan *J* pada model tip clearance 40 mm

Grafik perbandingan efisiensi koefisien *advance* (*J*) pada model tip clearance 40 mm (Ka-19A-40, Ka-21-40 dan Ka-23-40) diatas menunjukkan nilai efisiensi pada masing-masing model mengalami kenaikan sampai dengan *J* 0.5 yang kemudian mengalami penurunan dari *J* 0.6, seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* (*J*). Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada model Ka-21-40 dengan nilai efisiensi sebesar 0.385.

- Perbandingan *Efficiency* vs *J* pada total *tip clearance* 60 mm



Gambar 4.45. Grafik hubungan *Efficiency* dengan *J* pada model tip clearance 60 mm

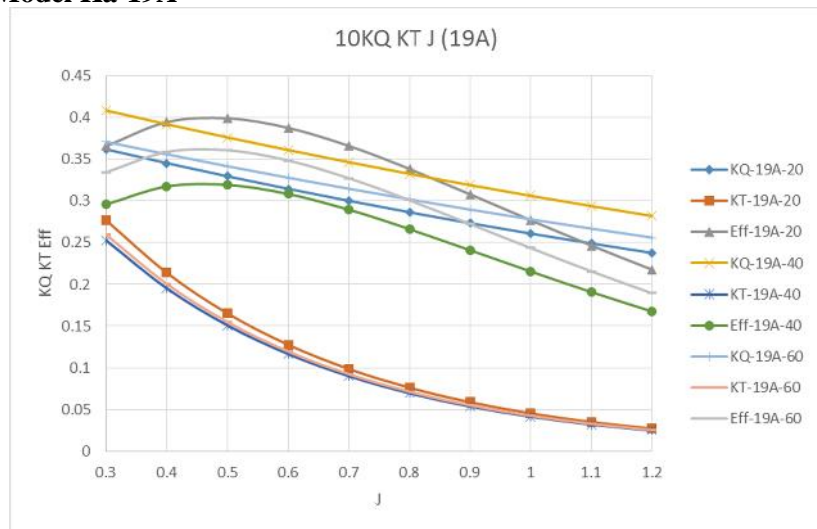
Dari grafik diatas bisa dilihat pada masing-masing model tip clearance 60 mm (Ka-19A-60, Ka-21-60 dan Ka-23-60) nilai efisiensi propeller yang dihasilkan mengalami kenaikan sampai *J* 0.5, dan

kemudian mengalami penurunan pada  $J$  0.6 sampai 1.2 seiring dengan bertambahnya nilai koefisien *advance* ( $J$ ). Nilai efisiensi terbesar terdapat pada model Ka-21-60 pada  $J$  0.5 sebesar 0.4.

#### 4.4.5. Diagram 10KQ, KT, J

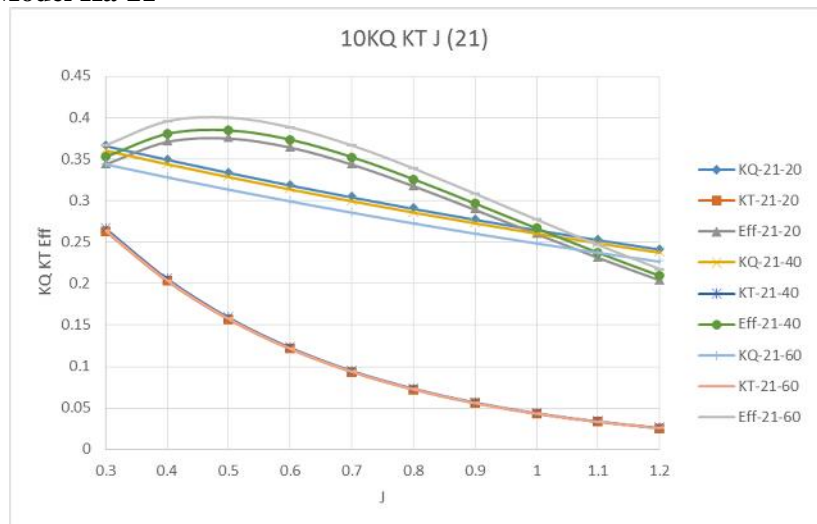
Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan, maka didapatkan diagram KQ KT J untuk masing-masing jenis model sebagai berikut :

##### Model Ka-19A



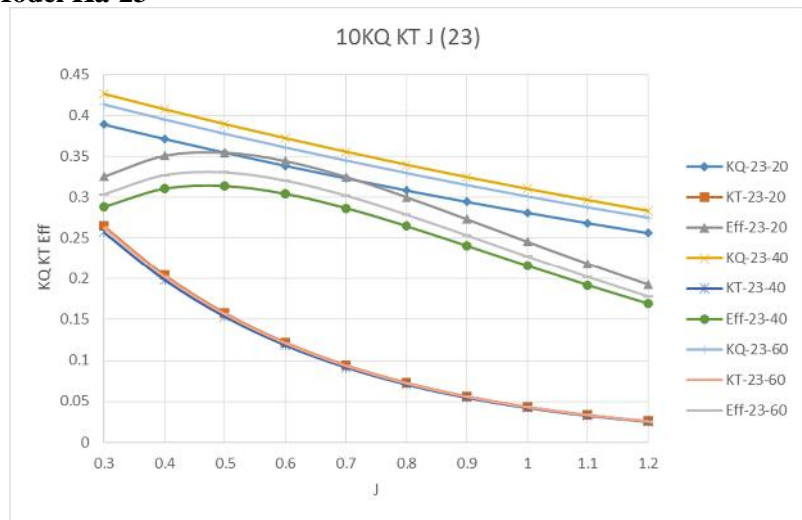
Gambar 4.46. Grafik 10KQ KT J Model Ka-19A

##### Model Ka-21



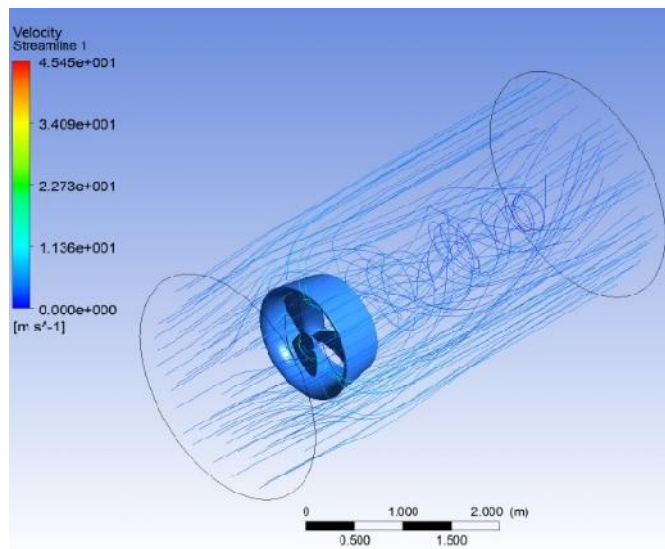
Gambar 4.47. Grafik 10KQ KT J Model Ka-21

### Model Ka-23

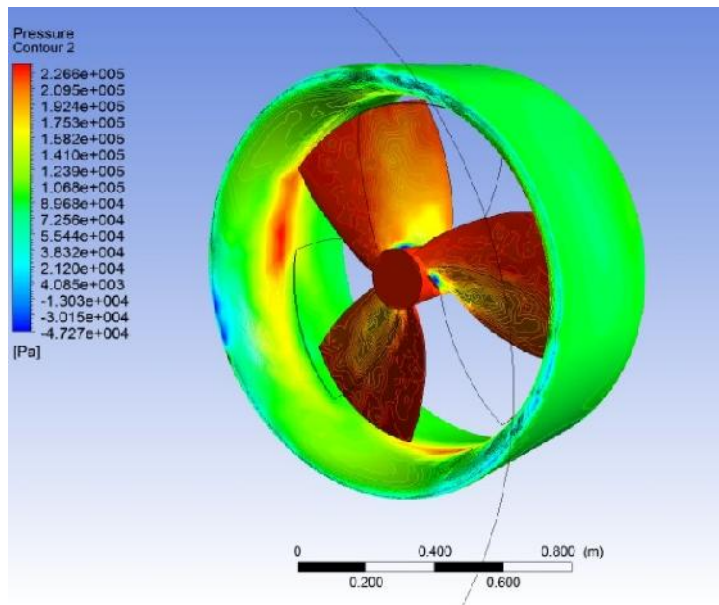


Gambar 4.48. Grafik 10KQ KT J Model Ka-23

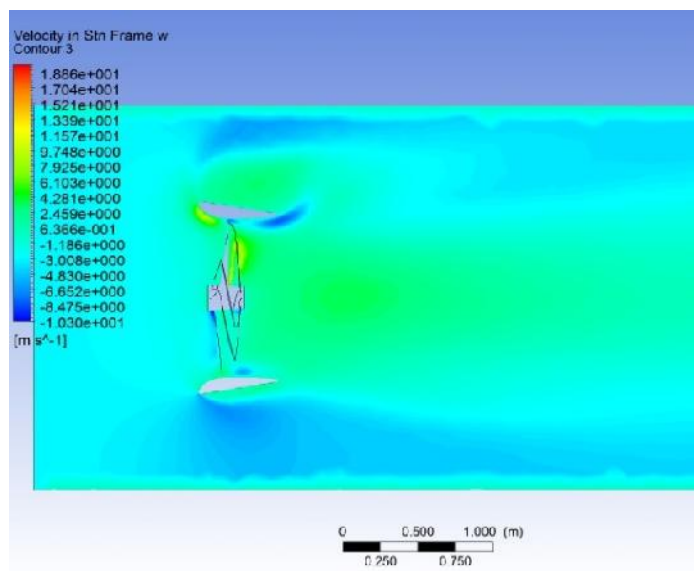
Selain ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, hasil simulasi juga ditampilkan dalam bentuk gambar kontur. Gambar kontur yang dimaksud adalah gambar kontur tekanan, kecepatan aliran dan *streamline* aliran fluida. Berikut merupakan hasil gambar kontur dari simulasi model Ka-19A-60, hasil gambar kontur model yang lainnya terlampir :



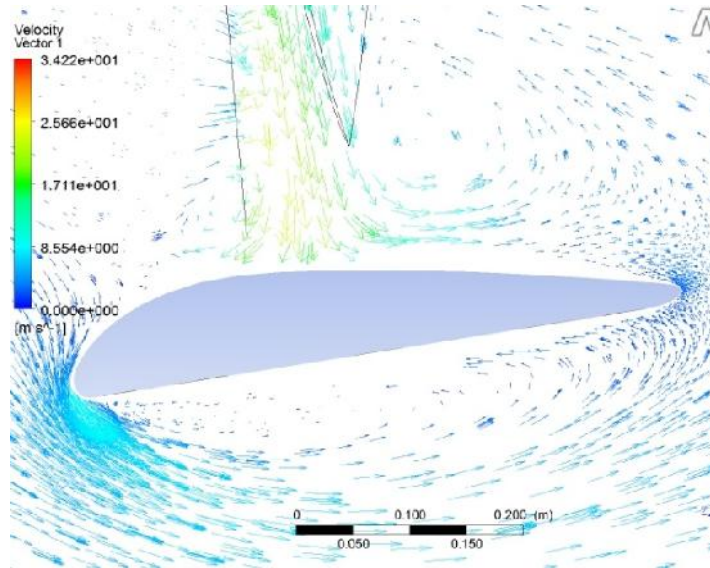
Gambar 4.49. *Streamline* aliran fluida



Gambar 4.50. Kontur tekanan pada model



Gambar 4.51. Kontur kecepatan fluida



Gambar 4.52. Arah vektor aliran fluida pada *duct*

Pada gambar 4.49. ditampilkan *streamline* aliran fluida pada domain fluida. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa aliran berputar akibat perputaran model *propeller* dan aliran terfokus di tengah akibat adanya *duct* yang digunakan pada *propeller*. Sedangkan pada gambar 4.50. menunjukkan kontur tekanan yang terjadi pada *propeller* dan *duct*. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tekanan yang lebih tinggi terdapat pada *leading edge propeller* dan juga bagian dalam dari *duct*. Hal ini dikarenakan *leading edge* yang menghantam fluida terlebih dahulu daripada bagian *propeller* yang lain.

Pada gambar 4.51. menunjukkan kontur kecepatan aliran fluida. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa fluida mempunyai kecepatan aliran yang lebih tinggi pada bagian kanan *duct* daripada sebelah kiri *duct*. Hal ini menunjukkan bahwa aliran fluida mengalami kenaikan aliran setelah melewati *propeller* yang berputar, serta aliran akan terfokus di tengah akibat adanya *duct*, sehingga *thrust* akan semakin meningkat. Sedangkan pada gambar 4.52. menunjukkan arah vektor aliran yang mengalir disekitar *blade propeller* dan *duct*. Dari gambar tersebut bisa dilihat bahwa aliran fluida yang tidak melewati *duct* akan bergerak di luar *duct* yang selanjutnya akan menyatu di ujung *duct* dengan aliran fluida yang melewati *duct*.



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi, analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hubungan antara besar  $L_d/D$  dengan *Thrust* berbanding terbalik, semakin besar  $L_d/D$  dari *duct* yang digunakan nilai *Thrust* yang dihasilkan akan semakin kecil dengan nilai terbesar 28.362 kN pada model dengan  $L_d/D$  0.5
2. Hubungan antara besar  $L_d/D$  dengan *Torque* berbanding lurus, semakin besar  $L_d/D$  dari *duct* yang digunakan nilai *Torque* yang dihasilkan akan semakin besar dengan nilai terbesar 4.371 kNm pada model dengan  $L_d/D$  0.9
3. Hubungan antara besar *Tip Clearance* dengan *Thrust* berbanding terbalik, semakin besar *Tip Clearance* dari *duct* yang digunakan nilai *Thrust* yang dihasilkan akan semakin kecil dengan nilai terbesar 28.362 kN pada model dengan tip clearance 20 mm
4. Hubungan antara besar *Tip Clearance* dengan *Torque* berbanding terbalik, semakin besar *Tip Clearance* dari *duct* yang digunakan nilai *Torque* yang dihasilkan akan semakin kecil dengan nilai terbesar 4.371 kNm pada model dengan  $L_d/D$  40 mm.

#### **5.2. Saran**

1. Perlu dilakukan analisa pengaruh material propeller dan duct terhadap kinerja dari propeller tersebut.
2. Untuk menghasilkan data yang lebih baik, jumlah iterasi harus ditambah agar solver menghasilkan data yang lebih baik.
3. Sebaiknya menggunakan software *Computational Fluid Dynamic (CFD)* yang lain untuk melakukan simulasi, agar mendapatkan perbandingan data.
4. Diperlukan spesifikasi komputer yang bagus, sehingga waktu simulasi bisa diminimalisir.

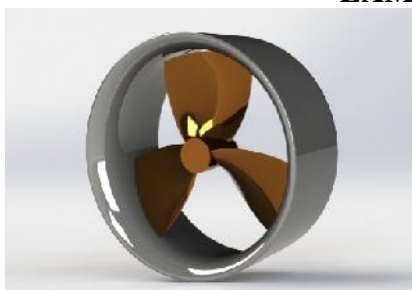
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

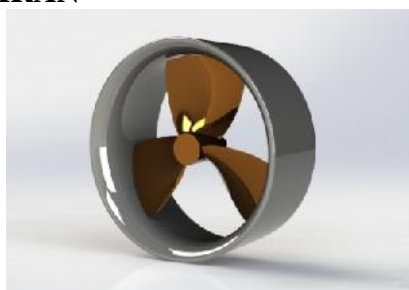
- [1] Ahmad,F. 2009. *Computational Fluid Dynamic* (CFD). (Diakses Januari 2017). fauzanahmad.wordpress.com.
- [2] Annie, <http://englishwithannie.com>, Diakses pada Desember 2015
- [3] Bontempo, R., Cardone, M. 2013. *Ducted propeller* flow analysis by means of a generalized actuator disk model. *Energy Procedia*. Volume 45 : 1107-1115
- [4] Bontempo, R., Cardone, M. 2015. Performance analysis of *ducter* marine *propeller* :Part I – Decelerating *duct*. *Applied Ocean Research*. Volume 58 : 332-330
- [5] Carlton, J. 2010. *Marine Propeller* and Propulsion Second Edition. Selsevier Ltd. USA
- [6] Civil Engineering Handbook, [hwww.civilengineeringhandbook.tk](http://www.civilengineeringhandbook.tk), Diakses pada Januari 2017
- [7] de Barros, E.A. ,Dantas, J.L.D. 2011. Effect of a *propeller duct* on AUV maneuverability. *Ocean Engineering Journal*. Volume 42 : 61-70
- [8] gCaptain, <http://gcaptain.com>, Diakses pada Januari 2017
- [9] Huda, N., Manik, P., & Trimulyono, A. (2013). *PENGARUH PENGGUNAAN ENERGY SAVING DEVICE PADA PROPELLER B4 55 DENGAN METODE CFD*. Semarang: KAPAL
- [10] Irmayana, T. 2012. Analisa Pengaruh Bentuk Foil Section *Nozzle* Terhadap Effisiensi Propulsi pada Kapal Tunda. Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [11] Kable Intelligence Limited, <http://www.ship-technology.com>, Diakses pada Januari 2017
- [12] Khozin M.R. 2016. Pengaruh Variasi Pitch Terhadap Kinerja *Ducted Contra Rotating Propeller* dengan Pendekatan CFD. Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [13] Kuiper, G. 1992. *The Wageningen Propeller Series*. MARIN Publication. Netherland
- [14] Machinery Spaces, <http://www.machineryspaces.com>, Diakses pada Januari 2017
- [15] Madina,K. 2011. Macam - Macam Jenis *Propeller* (Baling-baling Kapal). (Diakses Tanggal 25 Januari 2017). <http://www.maritimeworld.web.id>
- [16] Manen, J.D. van. 1966. *Analysis of Ducted-Propeller Design*. The Society of Naval Architectur and Marine Engineering.
- [17] Michalski, Jan P. 2007. A method for selection of parameters of ship propulsion system fitted with compromised screw propeller. *Polish Maritime Research*. Volume 14 :32-6
- [18] Mishbah, Dani. 2015. Analisa Peruahan Distribusi *Pitch* Terhadap Kinerja *Propeller* Jenis Kaplan. Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [19] Nasrullah, Uud. 2013. Analisa Aliran Di depan *Propeller* dengan Modifikasi Jarak dan Jenis *Ducted* Terhadap Pengaruh *Nozzle* Ring. Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [20] Popov, E.P. 1984. *Mechanic of Materials*. San Francisco. Berkeleyy
- [21] Raunek, <http://www.brightengineering.com>, Diakses pada Januari 2017
- [22] Rolls Royce, [www.rolls-royce.com](http://www.rolls-royce.com), Diakses pada 2017

- [23] Sahal, M., 2015. Analisa *Performance Propeller* KCA-Series dengan Pendekatan CFD. Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [24] Schneekluth, H., Bertram, V. 1998. Ship Design for Efficiency and Economy Second Edition. Butterworth Heinemann. Germany
- [25] Subhas, S. 2012. CFD Analysis of a *Propeller* Flow and Cavitation. International Journal of Computer Applications. Volume 55– No.16:26-33
- [26] Thrust Master, [www.nauticexpo.com](http://www.nauticexpo.com), Diakses pada Januari 2017
- [27] Wikipedia, <https://en.wikipedia.org>, Diakses pada 2017
- [28] W. Adji, Suryo. 2005. Engine *Propeller* Matching. Surabaya. Teknik Sistem Perkapalan.
- [29] Widayatno & Utama, I Ketut. (2012). *ANALISA ALIRAN PADA DUCTED PROPELLER DENGAN PENDEKATAN CFD (COMPUTATIONAL FLUIDA DYNAMICS)*. Surabaya: JURNAL TEKNIK PERKAPALAN.
- [30] Yongle, D., Baowei, D. 2015. Numerical investigation of tip *clearance* effects on the performance of *ducted propeller*. International Journal Naval Architecture Ocean Engineering. Volume 7 : 795-804

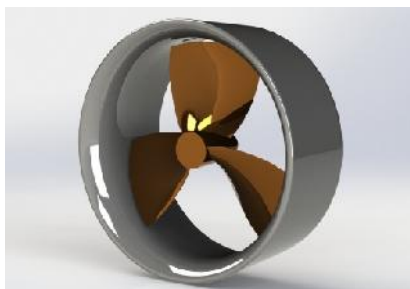
## LAMPIRAN



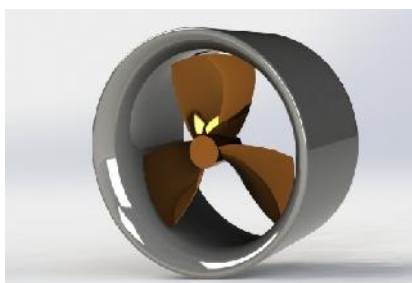
**Model Ka-19A-20**



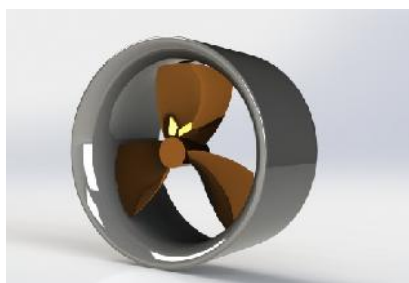
**Model Ka-19A-40**



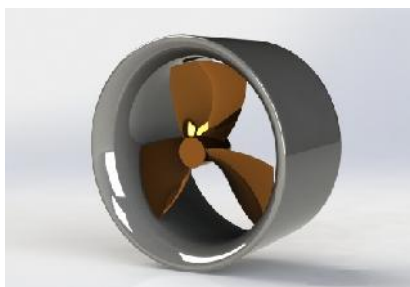
**Model Ka-19A-60**



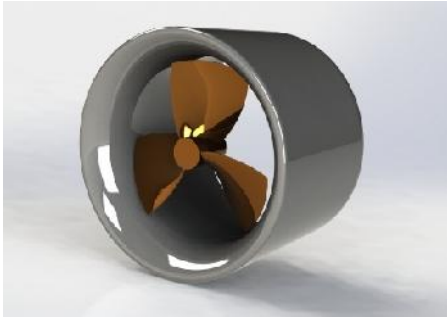
**Model Ka-21-20**



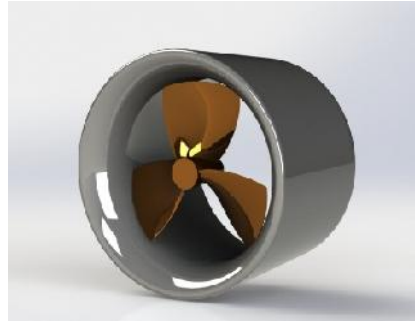
**Model Ka-21-40**



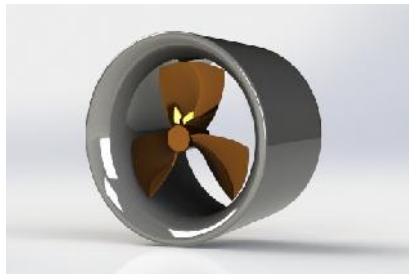
**Model Ka-21-60**



**Model Ka-23-20**



**Model Ka-23-40**



**Model Ka-23-60**

## Data Hasil Simulasi Model Ka-19A-20

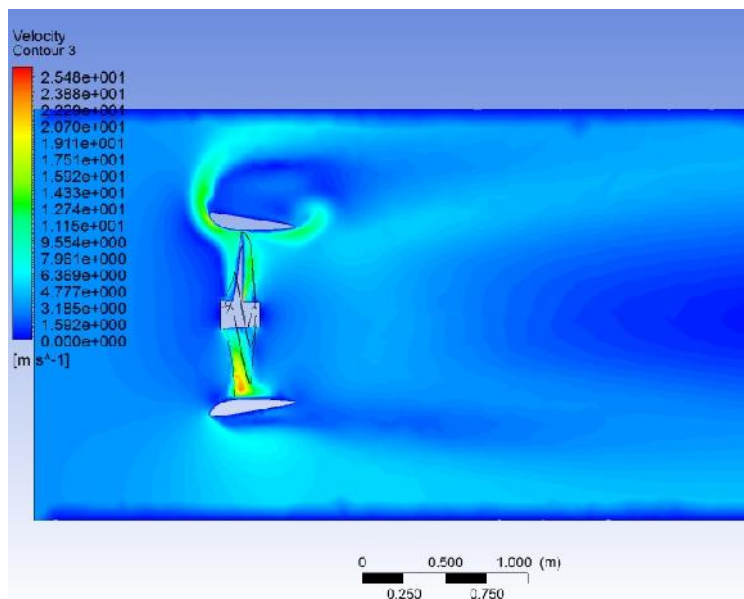
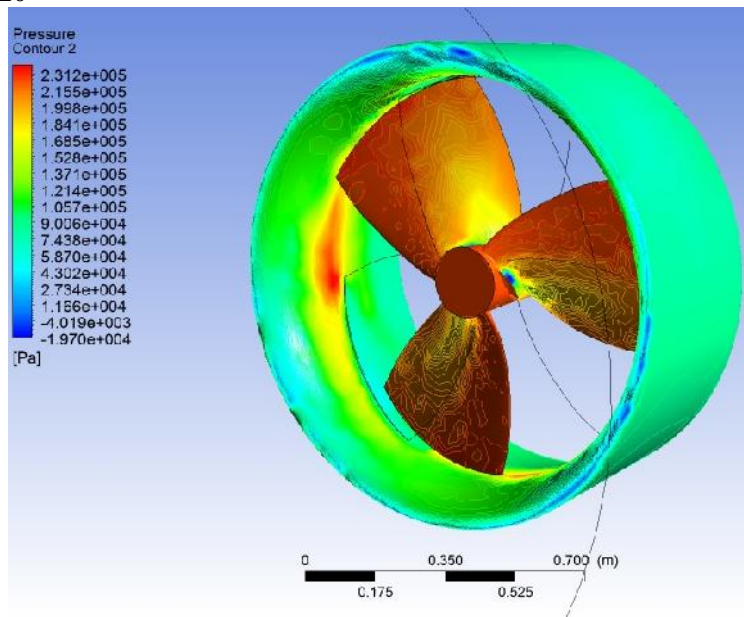
Jenis Model	J	Pressure (Pa)		Wall Shear		Torque (Nm)		Flift (N)		Fdrag (N)		Flift	Fdrag	Thrust	Torque	η
		Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back					
Ka-19A-20	0.3	88403.900	29008.300	263.321	506.904	-2680.700	1026.670	44113.546	14678.200	131.397	256.493	29435.346	125.096	28362.360	3707.370	0.365
	0.4	68273.271	22402.762	203.360	391.476	-2552.831	985.223	34068.362	11335.798	101.476	198.087	22732.565	96.610	21903.911	3538.054	0.394
	0.5	52726.628	17301.384	157.052	302.332	-2431.061	945.450	26310.587	8754.500	78.369	152.980	17556.087	74.611	16916.127	3376.511	0.399
	0.6	40720.142	13361.651	121.290	233.487	-2315.099	907.282	20319.357	6760.996	60.523	118.145	13558.355	57.621	13064.122	3222.381	0.387
	0.7	31447.677	10319.043	93.670	180.320	-2204.669	870.655	15692.391	5221.436	46.742	91.242	10470.955	44.500	10089.265	3075.324	0.366
	0.8	24286.664	7969.273	72.341	139.259	-2099.506	835.507	12119.045	4032.452	36.098	70.465	8086.593	34.367	7791.818	2935.013	0.338
	0.9	18756.299	6154.574	55.868	107.548	-1999.360	801.778	9359.393	3114.214	27.878	54.419	6245.179	26.541	6017.528	2801.137	0.308
	1	14485.265	4753.104	43.146	83.058	-1903.990	769.410	7228.147	2405.070	21.530	42.027	4823.077	20.497	4647.264	2673.400	0.277
	1.1	11186.796	3670.765	33.321	64.145	-1813.170	738.349	5582.211	1857.407	16.627	32.457	3724.804	15.830	3589.027	2551.519	0.246
	1.2	8639.428	2834.888	25.734	49.538	-1726.682	708.542	4311.075	1434.453	12.841	25.066	2876.622	12.225	2771.762	2435.223	0.217
Ka-19A-40	0.3	87230.200	32934.600	248.323	110.661	-2769.700	1414.770	43527.870	16664.908	123.913	55.994	26862.962	67.919	25895.930	4184.470	0.296
	0.4	67366.837	25434.996	191.777	85.462	-2658.001	1357.714	33616.052	12870.108	95.697	43.244	20745.943	52.453	19999.116	4015.715	0.317
	0.5	52026.600	19643.142	148.107	66.001	-2550.806	1302.959	25961.273	9939.430	73.905	33.397	16021.843	40.509	15445.077	3853.765	0.319
	0.6	40179.519	15170.163	114.381	50.972	-2447.935	1250.411	20049.580	7676.103	57.076	25.792	12373.477	31.284	11928.048	3698.346	0.308
	0.7	31030.160	11715.735	88.335	39.365	-2349.212	1199.984	15484.050	5928.162	44.079	19.919	9555.888	24.161	9211.888	3549.196	0.289
	0.8	23964.220	9047.922	68.220	30.401	-2254.471	1151.590	11958.146	4578.248	34.042	15.383	7379.898	18.659	7114.231	3406.060	0.266
	0.9	18507.280	6987.601	52.686	23.478	-2163.550	1105.147	9235.133	3535.726	26.290	11.880	5699.406	14.410	5494.235	3268.697	0.241
	1	14292.950	5396.441	40.689	18.132	-2076.296	1060.578	7132.182	2730.599	20.304	9.175	4401.583	11.129	4243.132	3136.874	0.215
	1.1	11038.274	4167.606	31.423	14.003	-1992.561	1017.806	5508.099	2108.809	15.680	7.086	3399.290	8.595	3276.920	3010.367	0.191
	1.2	8524.726	3218.592	24.268	10.815	-1912.203	976.758	4253.838	1628.608	12.110	5.472	2625.231	6.637	2530.726	2888.962	0.167
Ka-19A-60	0.3	87330.500	31597.400	432.112	680.998	-2597.100	1202.960	43577.920	15988.284	215.624	344.585	27589.635	128.961	26580.845	3800.060	0.334
	0.4	67444.297	24402.293	333.715	525.927	-2492.362	1154.446	33654.704	12347.560	166.524	266.119	21307.144	99.595	20528.067	3646.807	0.359
	0.5	52086.421	18845.598	257.724	406.167	-2391.847	1107.888	25991.124	9535.873	128.604	205.520	16455.252	76.916	15853.580	3499.735	0.361
	0.6	40225.718	14554.229	199.037	313.678	-2295.386	1063.208	20072.633	7364.440	99.320	158.721	12708.193	59.401	12243.530	3358.594	0.348
	0.7	31065.839	11240.057	153.714	242.250	-2202.816	1020.330	15501.854	5687.469	76.703	122.578	9814.385	45.875	9455.531	3223.146	0.327
	0.8	23991.775	8680.561	118.711	187.086	-2113.978	979.181	11971.896	4392.364	59.237	94.666	7579.532	35.429	7302.393	3093.159	0.301
	0.9	18528.560	6703.893	91.679	144.485	-2028.724	939.692	9245.751	3392.170	45.748	73.109	5853.582	27.361	5639.551	2968.415	0.272
	1	14309.385	5177.336	70.803	111.584	-1946.907	901.795	7140.383	2619.732	35.331	56.461	4520.651	21.131	4355.357	2848.702	0.243
	1.1	11050.966	3998.395	54.680	86.175	-1868.390	865.426	5514.432	2023.188	27.285	43.604	3491.244	16.319	3363.590	2733.817	0.216
	1.2	8534.528	3087.912	42.229	66.552	-1793.040	830.525	4258.730	1562.484	21.072	33.675	2696.246	12.603	2597.660	2623.565	0.189
Ka-21-20	0.3	87593.100	30942.300	1188.930	1729.650	-2562.200	1188.270	43708.957	15656.804	593.276	875.203	28052.153	281.927	26986.719	3750.470	0.344
	0.4	67647.100	23896.367	918.196	1335.788	-2439.983	1140.300	33755.903	12091.562	458.180	675.909	21664.341	217.729	20841.519	3580.283	0.371
	0.5	52243.044	18454.877	709.112	1031.613	-2323.596	1094.266	26069.279	9338.168	353.847	521.996	16731.111	168.149	16095.655	3417.862	0.375
	0.6	40346.676	14252.480	547.639	796.702	-2212.760	1050.090	20132.991	7211.755	273.272	403.131	12921.236	129.860	12430.481	3262.851	0.364
	0.7	31159.253	11007.020	422.935	615.284	-2107.212	1007.698	15548.467	5569.552	211.044	311.334	9978.916	100.289	9599.912	3114.910	0.344
	0.8	24063.918	8500.589	326.627	475.176	-2006.698	967.017	12007.895	4301.298	162.987	240.439	7706.597	77.452	7413.896	2973.715	0.318
	0.9	18584.275	6564.903	252.250	366.973	-1910.978	927.979	9273.553	3321.841	125.873	185.688	5951.712	59.815	5725.663	2838.957	0.289
	1	14352.412	5069.996	194.810	283.409	-1819.825	890.517	7161.854	2565.418	97.210	143.405	4596.436	46.195	4421.861	2710.341	0.260
	1.1	11084.196	3915.497	150.449	218.873	-1733.019	854.566	5531.014	1981.241	75.074	110.750	3549.772	35.676	3414.950	2587.585	0.231
	1.2	8560.191	3023.891	116.190	169.033	-1650.354	820.068	4271.536	1530.089	57.979	85.531	2741.447	27.552	2637.325	2470.421	0.204
Ka-21-40	0.3	87485.500	30357.000	149.989	-64.451	2542.310	-1152.220	43655.265	15360.642	74.845	32.612	28294.623	42.232	27283.774	3694.530	0.353
	0.4	67564.002	23444.347	115.835	-49.775	2421.042	-1105.705	33714.437	11862.839	57.802	25.186	21851.597	32.616	21070.931	3526.747	0.381
	0.5	52178.868	18105.788	89.458	-38.440	2305.558	-1061.068	26037.255	9161.529	44.639	19.451	16875.726	25.189	16272.827	3366.626	0.385
	0.6	40297.113	13982.883	69.087	-29.687	2195.583	-1018.232	20108.260	7075.339	34.474	15.022	13032.921	19.453	12567.309	3213.815	0.374
	0.7	31120.977	10798.812	53.355	-22.927	2090.854	-977.126	15529.368	5464.199	26.624	11.601	10065.169	15.023	9705.582	3067.980	0.353
	0.8	24034.357	8339.793	41.206	-17.706	1991.120	-937.680	11993.144	4219.935	20.562	8.959	7773.209	11.602	7495.505	2928.800	0.326
	0.9	18561.446	6440.722	31.823	-13.674	1896.144	-899.826	9262.161	3259.005	15.879	6.919	6003.156	8.960	5788.688	2795.969	0.297
	1	14334.782	4974.093	24.576	-10.671	1805.697	-863.500	7153.056	2516.891	12.264	5.344	4636.165	6.920	4470.534	2669.197	0.267
	1.1	11070.580	3841.432	18.980	-8.156	1719.566	-828.640	5524.219	1943.765	9.471	4.127	3580.455	5.344	3452.540	2548.206	0.237
	1.2	8549.676	2966.692	14.658	-6.299	1637.542	-795.188	4266.288	1501.146	7.314	3.187	2765.142	4.127	2666.355	2432.731	0.209

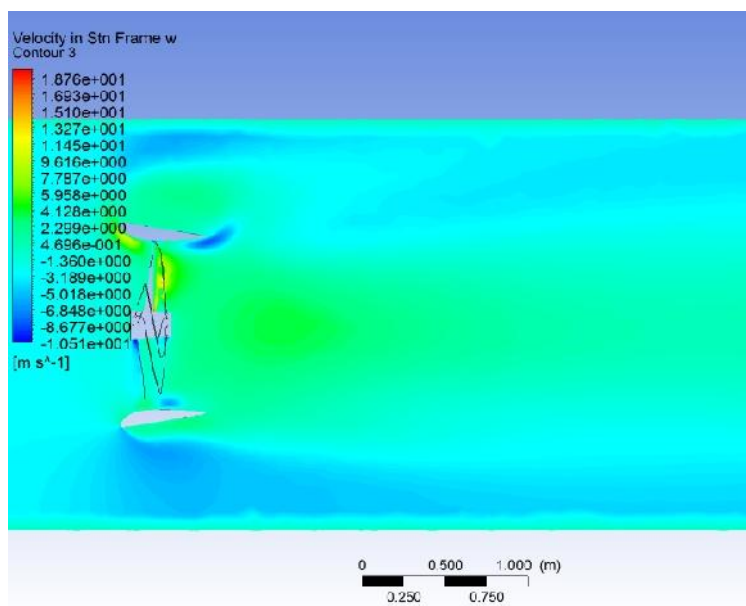
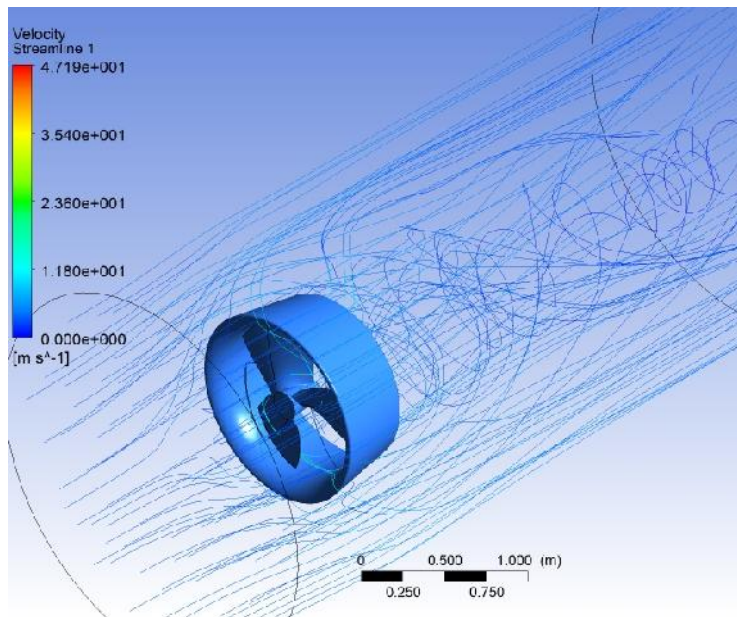


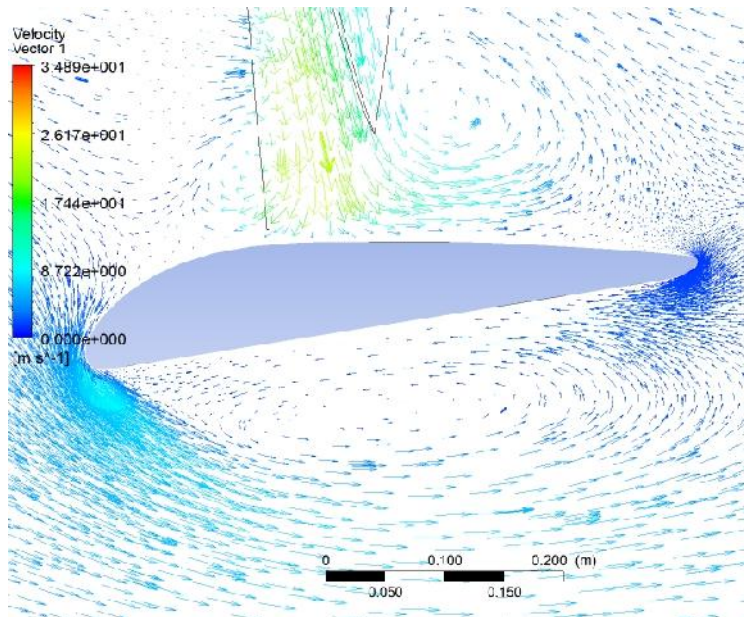
Jenis Model	J	Pressure (Pa)		Wall Shear		Torque (Nm)		Flift (N)		Fdrag (N)		Flift	Fdrag	Thrust	Torque	η
		Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back	Face	Back					
Ka-21-60	0.3	86212.400	29401.900	111.664	725.569	-2406.400	1117.720	43019.988	14877.361	55.720	367.138	28142.626	311.418	27066.225	3524.120	0.367
	0.4	66580.802	22706.735	86.237	560.348	-2291.615	1072.598	33223.820	11489.608	43.032	283.536	21734.213	240.504	20902.921	3364.212	0.396
	0.5	51419.554	17536.139	66.600	432.750	-2182.305	1029.297	25658.358	8873.286	33.233	218.972	16785.072	185.738	16143.075	3211.602	0.400
	0.6	39710.705	13542.949	51.434	334.208	-2078.209	987.744	19815.642	6852.732	25.666	169.109	12962.909	143.444	12467.103	3065.953	0.389
	0.7	30668.101	10459.057	39.722	258.105	-1979.078	947.869	15303.382	5292.283	19.821	130.601	10011.099	110.780	9628.194	2926.947	0.367
	0.8	23684.606	8077.404	30.677	199.331	-1884.676	909.604	11818.619	4087.167	15.308	100.862	7731.452	85.554	7435.739	2794.280	0.339
	0.9	18291.337	6238.083	23.691	153.941	-1794.777	872.883	9127.377	3156.470	11.822	77.894	5970.907	66.072	5742.532	2667.660	0.309
	1	14126.180	4817.596	18.297	118.887	-1709.166	837.645	7048.964	2437.704	9.130	60.157	4611.260	51.027	4434.888	2546.811	0.277
	1.1	10909.479	3720.572	14.130	91.815	-1627.639	803.829	5443.830	1882.609	7.051	46.458	3561.221	39.407	3425.011	2431.468	0.247
	1.2	8425.260	2873.353	10.913	70.908	-1550.001	771.379	4204.205	1453.917	5.445	35.879	2750.288	30.434	2645.095	2321.379	0.218
	0.3	87993.400	31050.400	607.006	-5.925	-2709.200	1276.710	43908.707	15711.502	302.896	2.998	28197.204	299.898	27121.910	3985.910	0.325
	0.4	67956.247	23979.851	468.783	-4.576	-2579.971	1225.169	33910.167	12133.805	233.923	2.315	21776.362	231.608	20945.926	3805.140	0.351
Ka-23-20	0.5	52481.794	18519.351	362.036	-3.534	-2456.907	1175.709	26188.415	9370.792	180.656	1.788	16817.623	178.868	16176.287	3632.616	0.355
	0.6	40531.060	14302.273	279.596	-2.729	-2339.712	1128.246	20224.999	7236.950	139.518	1.381	12988.049	138.137	12492.752	3467.958	0.344
	0.7	31301.651	11045.474	215.929	-2.108	-2228.108	1082.699	15619.524	5589.010	107.748	1.066	10030.514	106.682	9648.003	3310.806	0.325
	0.8	24173.889	8530.287	166.759	-1.628	-2121.827	1038.990	12062.771	4316.325	83.213	0.824	7746.446	82.389	7451.037	3160.817	0.300
	0.9	18669.205	6587.838	128.786	-1.257	-2020.616	997.046	9315.333	3333.446	64.264	0.636	5982.487	63.628	5754.346	3017.662	0.273
	1	14418.003	5087.708	99.460	-0.971	-1924.233	956.795	7194.583	2574.380	49.630	0.491	4620.203	49.139	4444.013	2881.028	0.246
	1.1	11134.851	3929.176	76.812	-0.750	-1832.447	918.170	5556.290	1988.163	38.329	0.379	3568.127	37.950	3432.058	2750.616	0.219
	1.2	8599.311	3024.456	59.321	-0.579	-1745.039	881.103	4291.056	1535.435	29.601	0.293	2755.622	29.308	2650.537	2626.142	0.193
	0.3	87268.900	31815.900	144.425	951.314	2391.660	-1979.360	43547.181	16098.845	72.068	481.365	27448.336	409.297	26370.678	4371.020	0.288
	0.4	67396.724	24571.038	111.538	734.688	2277.578	-1899.453	33630.965	12432.945	55.657	371.752	21198.020	316.095	20365.758	4177.031	0.311
	0.5	52049.681	18975.918	86.139	567.391	2168.937	-1822.772	25972.791	9601.814	42.983	287.100	16370.977	244.116	15728.230	3991.710	0.314
	0.6	40197.344	14654.873	66.524	438.189	2065.479	-1749.187	20058.475	7415.366	33.196	221.724	12643.109	188.528	12146.724	3814.666	0.304
Ka-23-40	0.7	31043.927	11317.783	51.376	338.408	1966.956	-1678.573	15490.919	5726.798	25.637	171.235	9764.121	145.598	9380.769	3645.528	0.287
	0.8	23974.852	8740.588	39.677	261.349	1873.132	-1610.809	11963.451	4422.737	19.799	132.242	7540.714	112.444	7244.655	3483.941	0.265
	0.9	18515.491	6750.251	30.642	201.836	1783.784	-1545.780	9239.230	3415.627	15.290	102.129	5823.603	86.839	5594.960	3329.564	0.241
	1	14299.291	5213.138	23.665	155.876	1698.697	-1483.377	7135.346	2637.848	11.809	78.873	4497.498	67.065	4320.921	3182.074	0.216
	1.1	11043.171	4026.044	18.276	120.381	1617.669	-1423.493	5510.542	2037.178	9.120	60.913	3473.364	51.793	3336.995	3041.163	0.192
	1.2	8528.508	3109.265	14.114	92.969	1540.506	-1366.027	4255.726	1573.288	7.043	47.042	2682.437	39.999	2577.121	2906.533	0.169
	0.3	86824.400	30194.800	19.563	1022.960	-2259.900	1976.800	43325.376	15278.569	9.762	517.618	28046.807	507.856	26922.036	4236.700	0.304
	0.4	67053.442	23319.082	15.108	790.020	-2152.103	1896.997	33459.668	11799.455	7.539	399.750	21660.212	392.211	20791.565	4049.099	0.327
	0.5	51784.569	18009.047	11.668	610.123	-2049.447	1820.415	25840.500	9112.578	5.822	308.722	16727.922	302.900	16057.076	3869.862	0.330
	0.6	39992.601	13908.171	9.011	471.190	-1951.689	1746.925	19956.308	7037.534	4.496	238.422	12918.773	233.926	12400.687	3698.614	0.320
	0.7	30885.806	10741.113	6.959	363.895	-1858.593	1676.402	15412.017	5435.003	3.473	184.131	9977.014	180.658	9576.902	3534.995	0.302
	0.8	23852.737	8295.233	5.374	281.032	-1769.938	1608.725	11902.516	4197.388	2.682	142.202	7705.128	139.520	7396.126	3378.664	0.279
Ka-23-60	0.9	18421.183	6406.309	4.151	217.037	-1685.512	1543.781	9192.170	3241.592	2.071	109.821	5950.578	107.750	5711.940	3229.293	0.253
	1	14226.458	4947.516	3.205	167.615	-1605.113	1481.459	7099.003	2503.443	1.600	84.813	4595.560	83.214	4411.263	3086.572	0.228
	1.1	10986.923	3820.907	2.476	129.447	-1528.549	1421.652	5482.475	1933.379	1.235	65.500	3549.096	64.265	3406.765	2950.202	0.202
	1.2	8485.069	2950.841	1.912	99.971	-1455.638	1364.260	4234.049	1493.125	0.954	50.585	2740.924	49.631	2631.004	2819.898	0.178

## Gambar Kontur Tekanan / *Pressure*, Kontur Kecepatan / *Velocity* dan Aliran Fluida

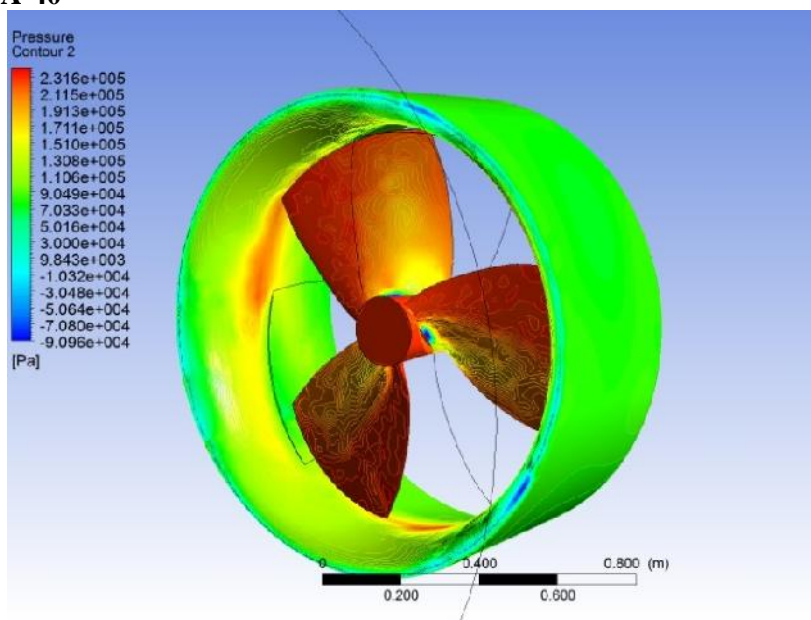
Ñ Ka-19A-20

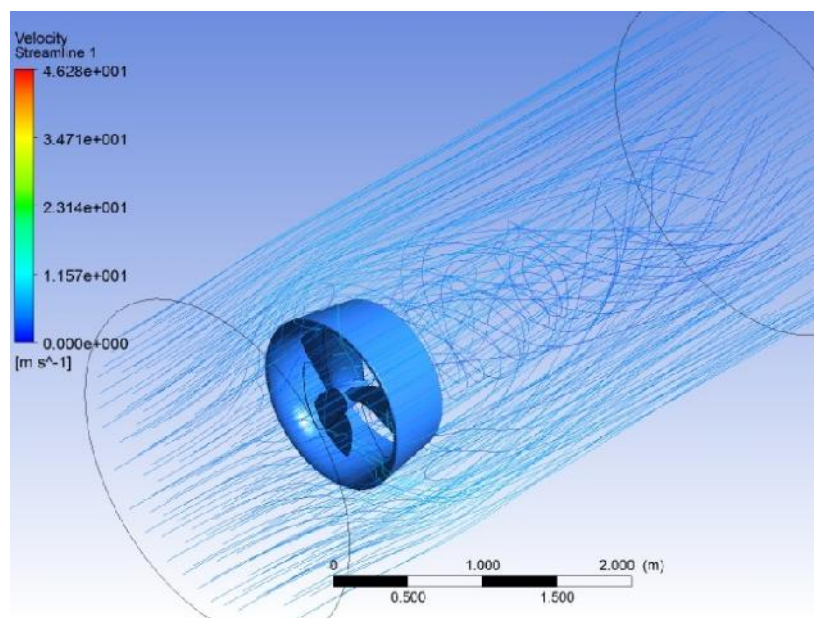
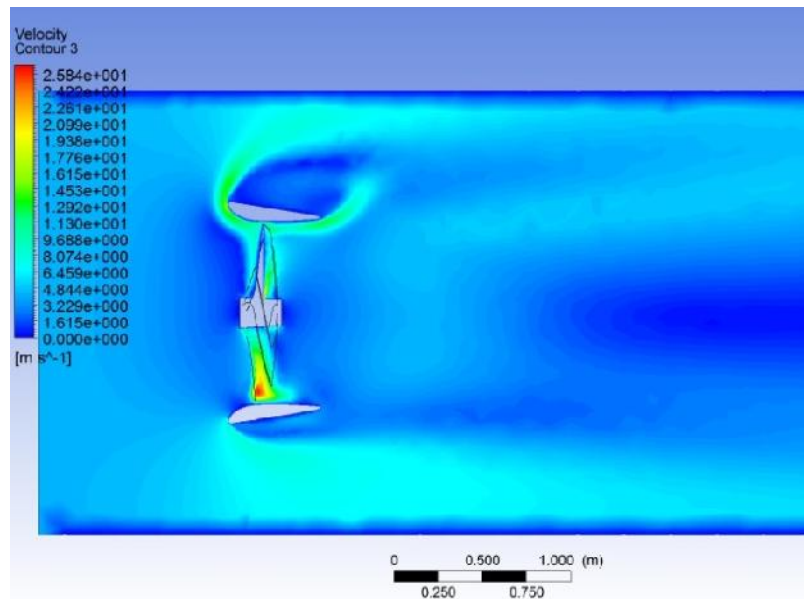




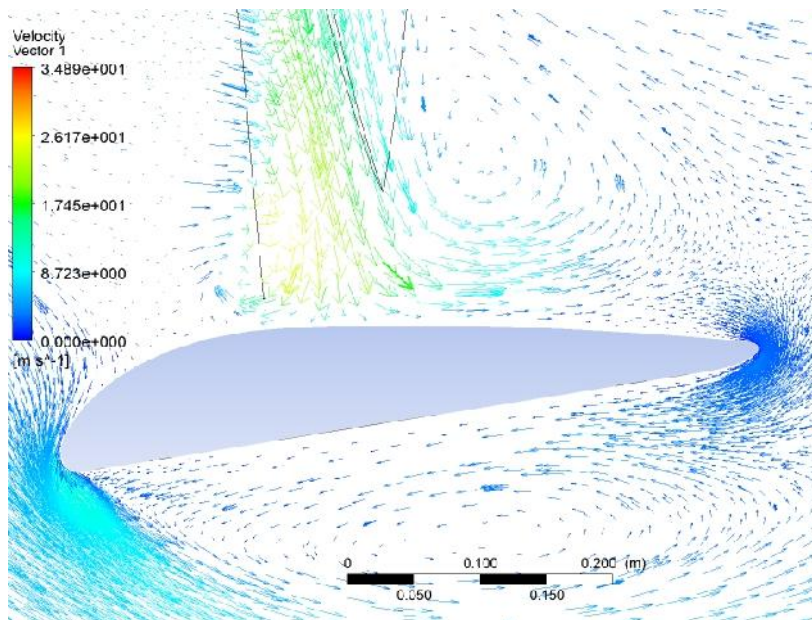
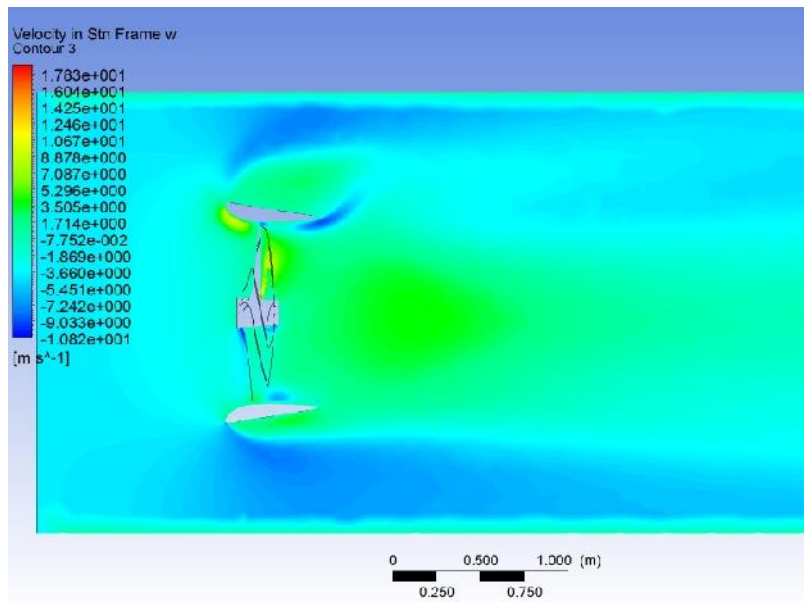


Ñ Ka-19A-40

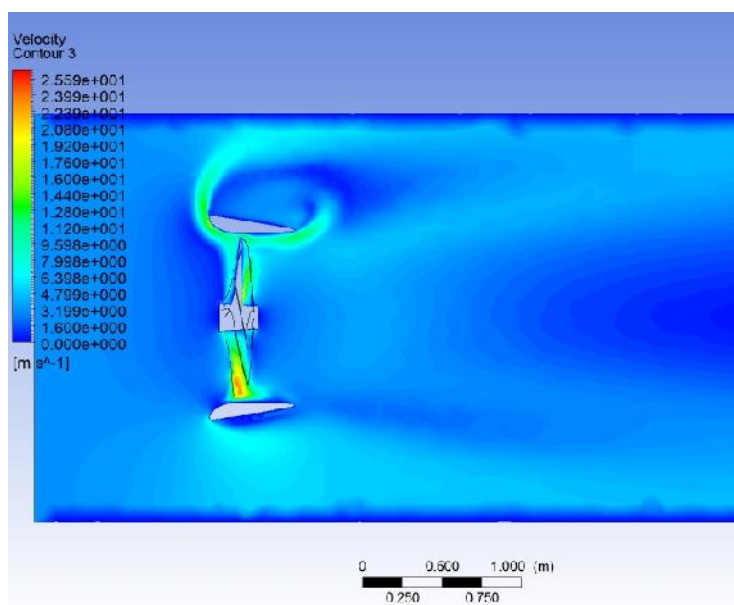
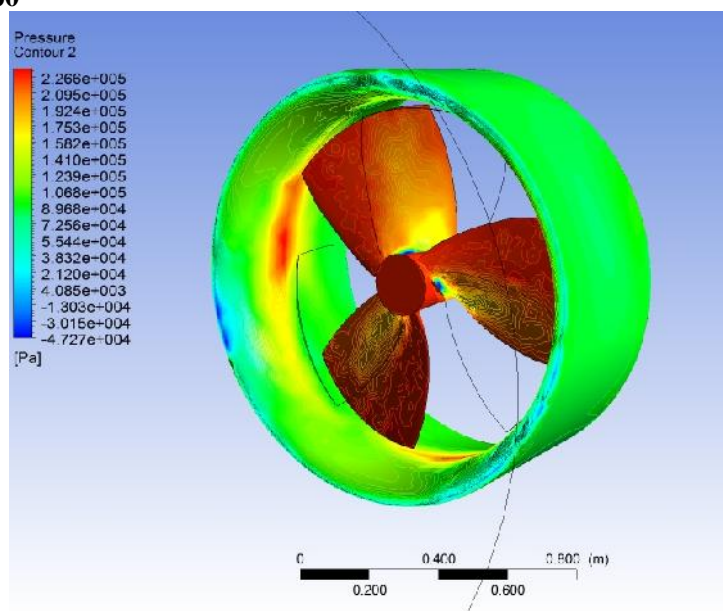


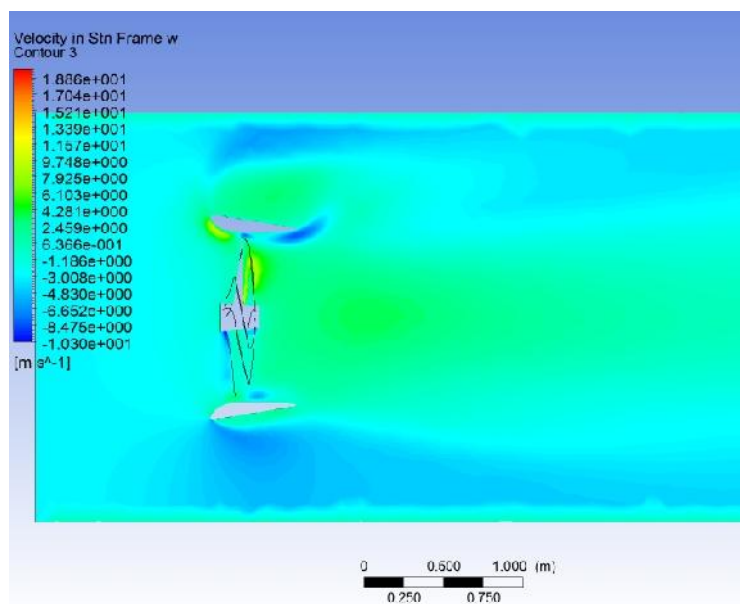
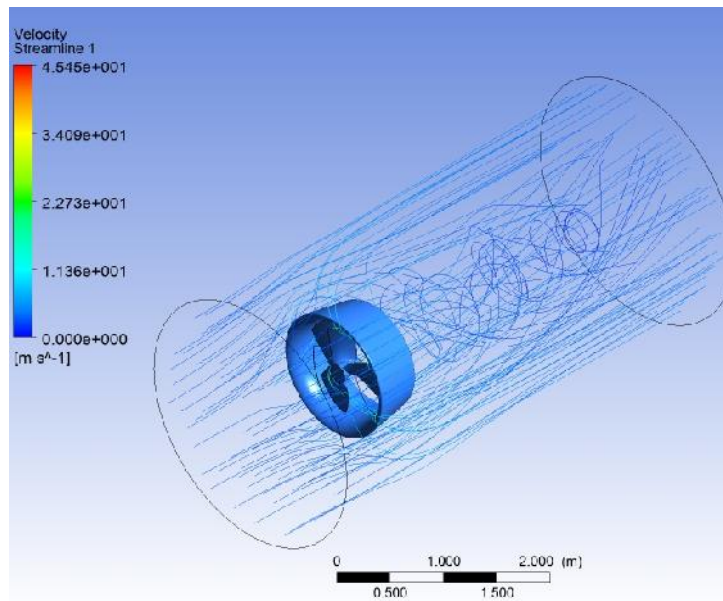




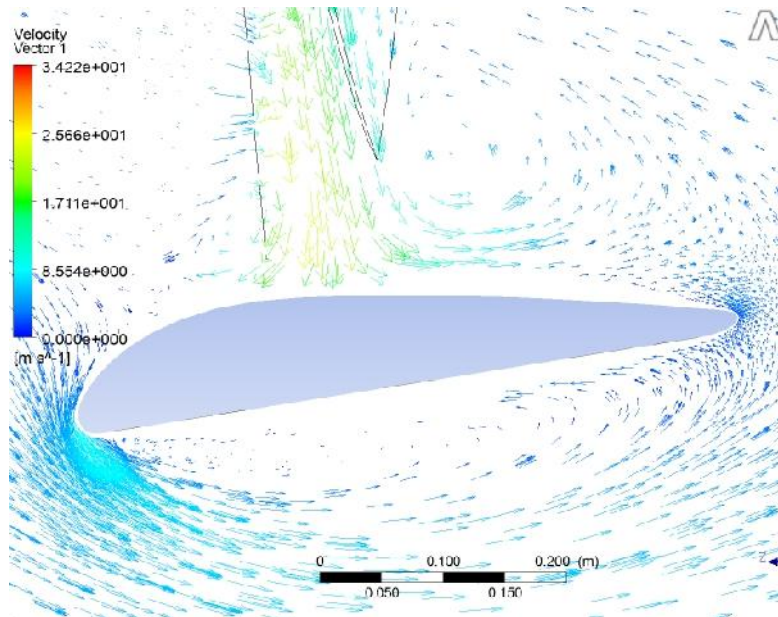


# № Ka-19A-60

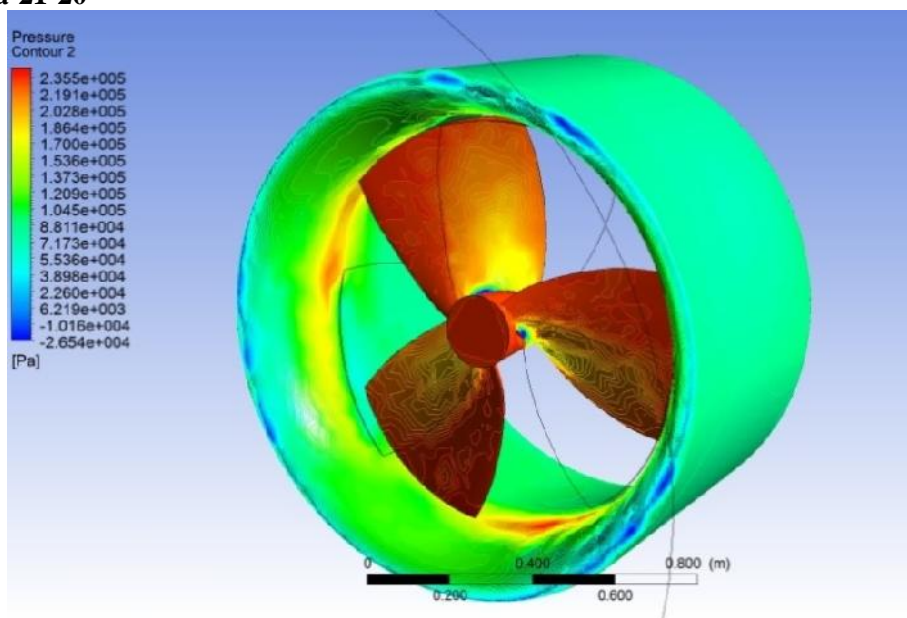


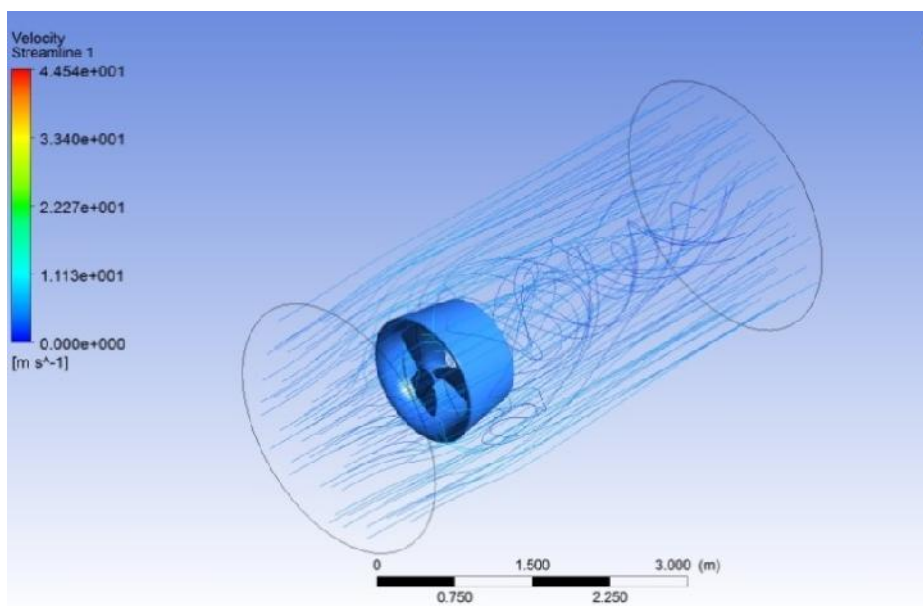
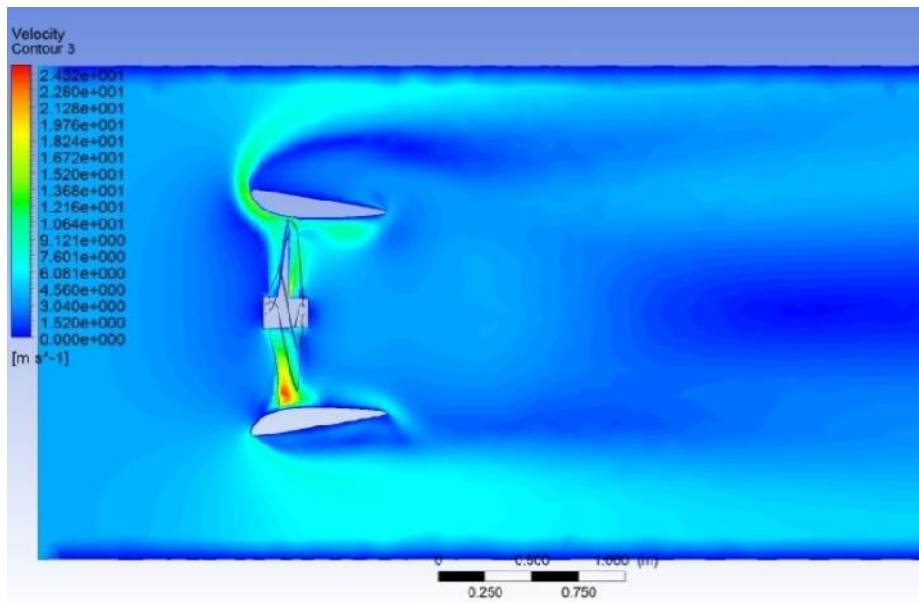


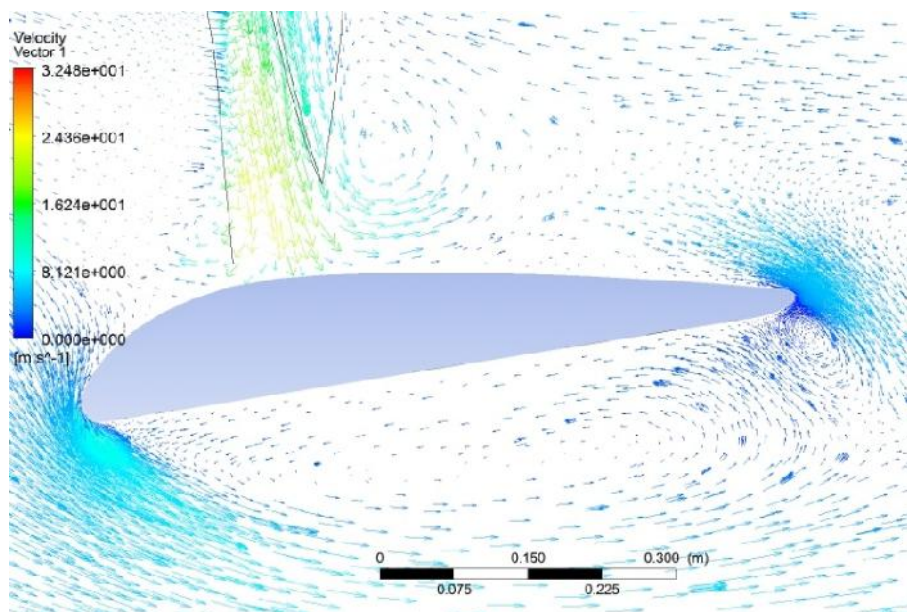
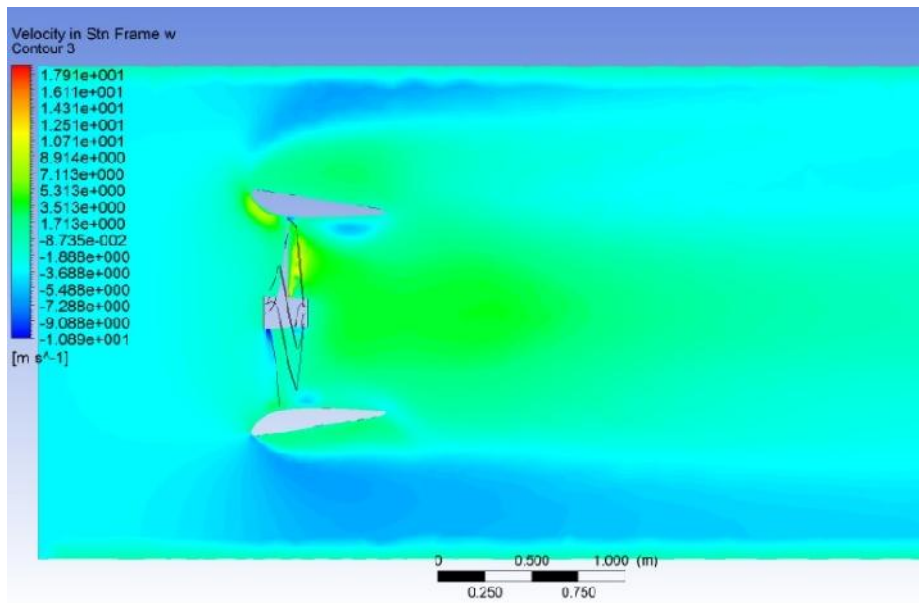




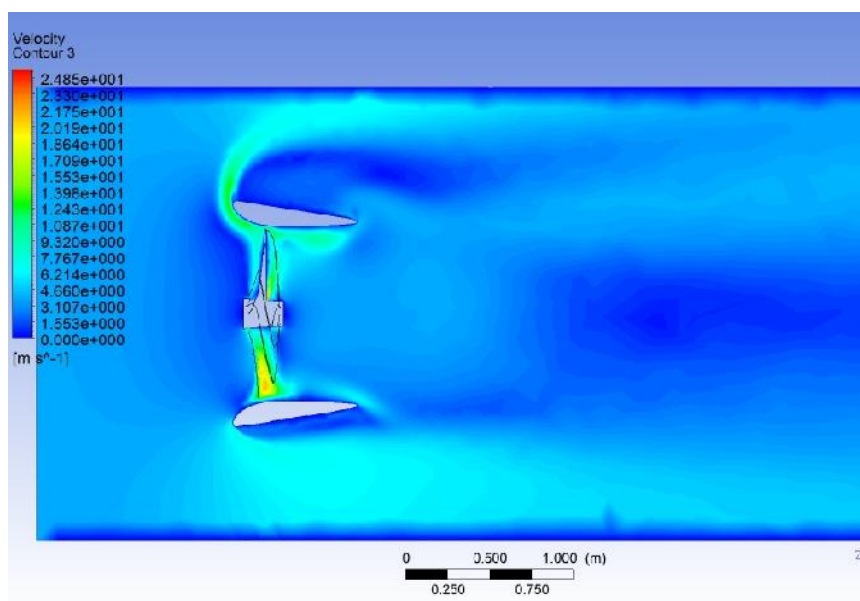
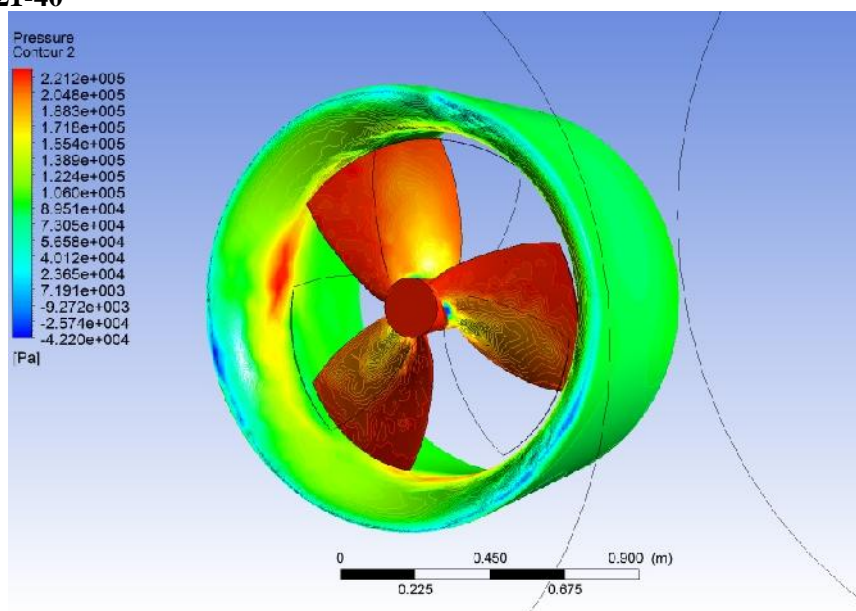
Ñ Ka-21-20

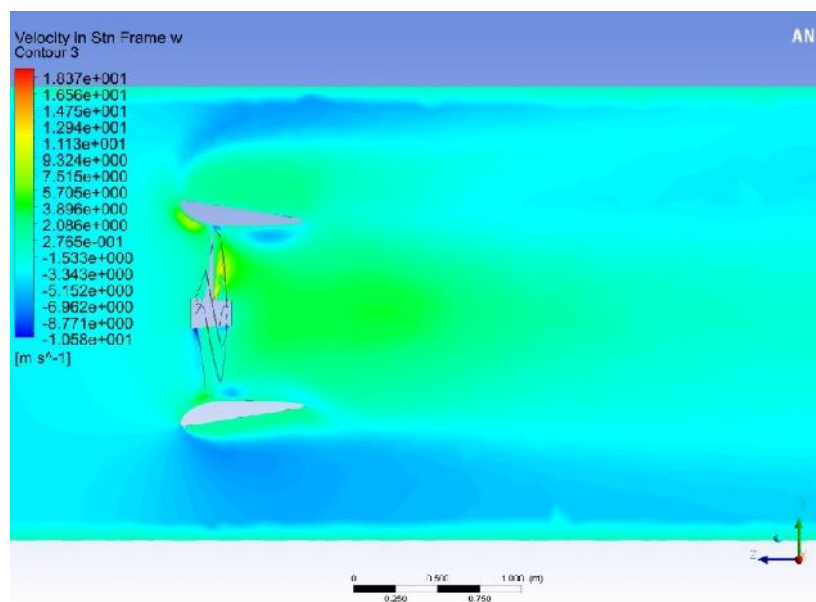
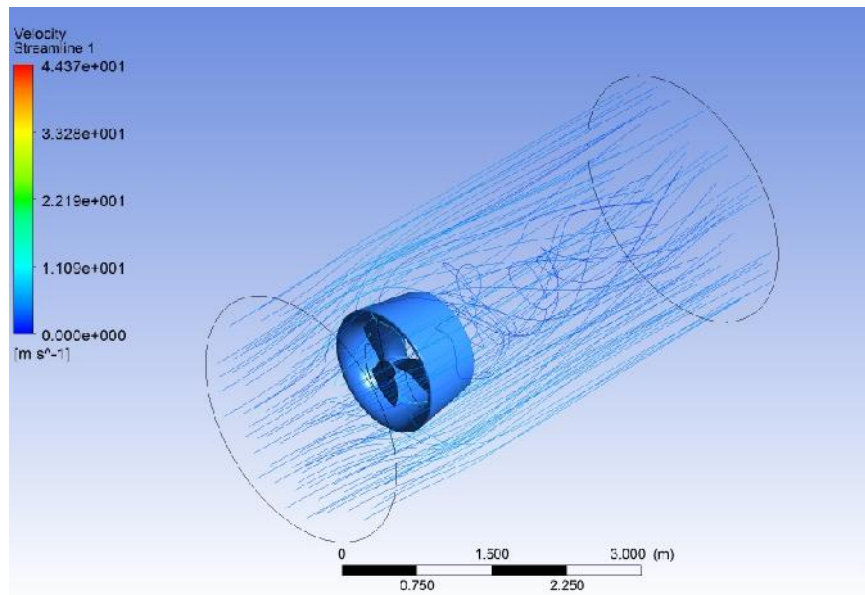




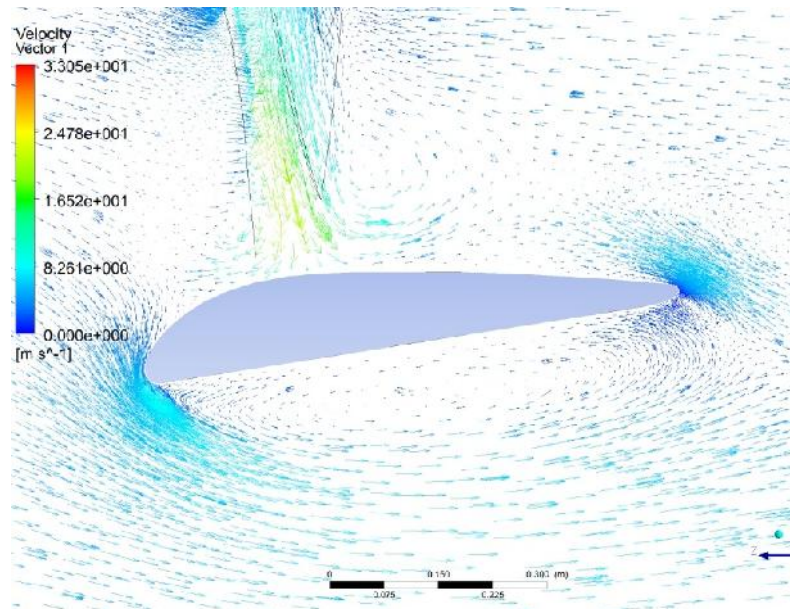


# N Ka-21-40

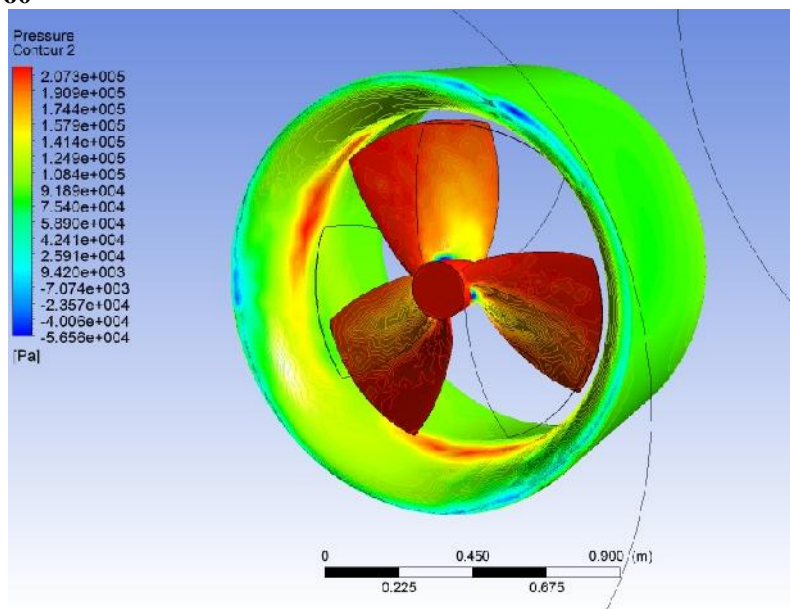


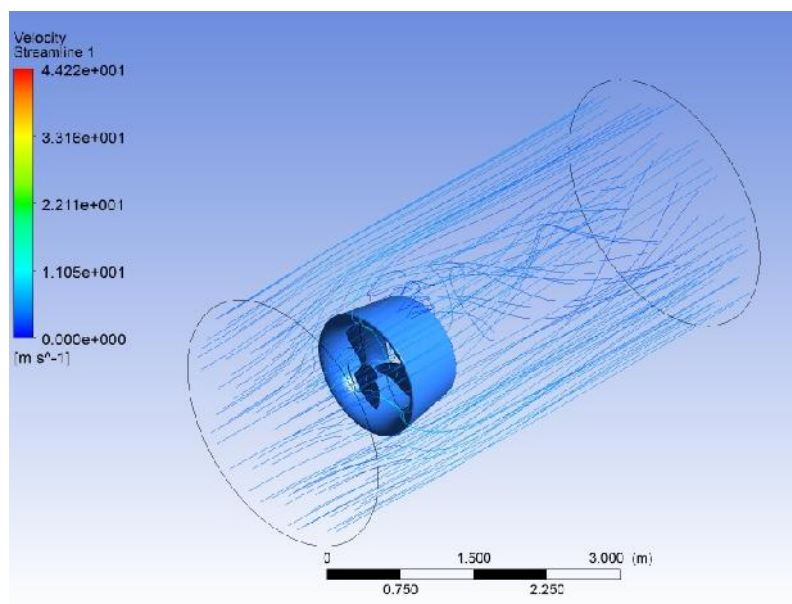
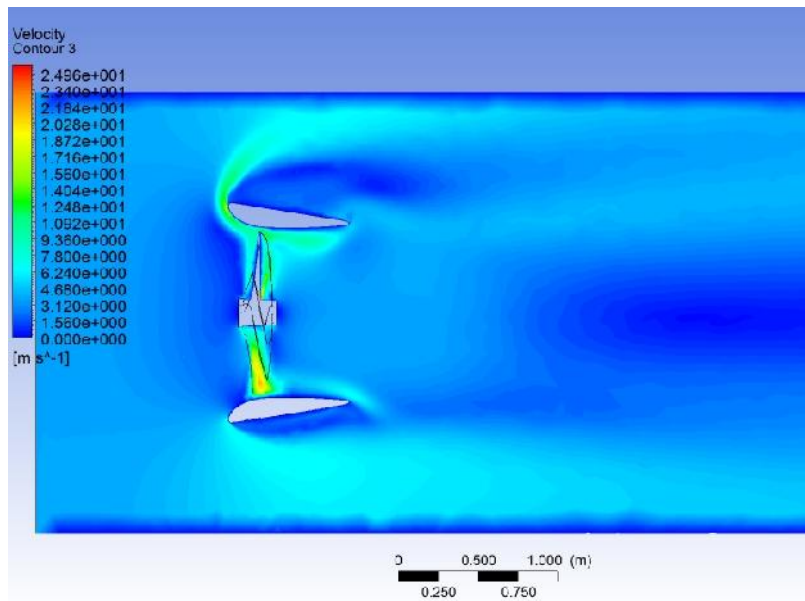


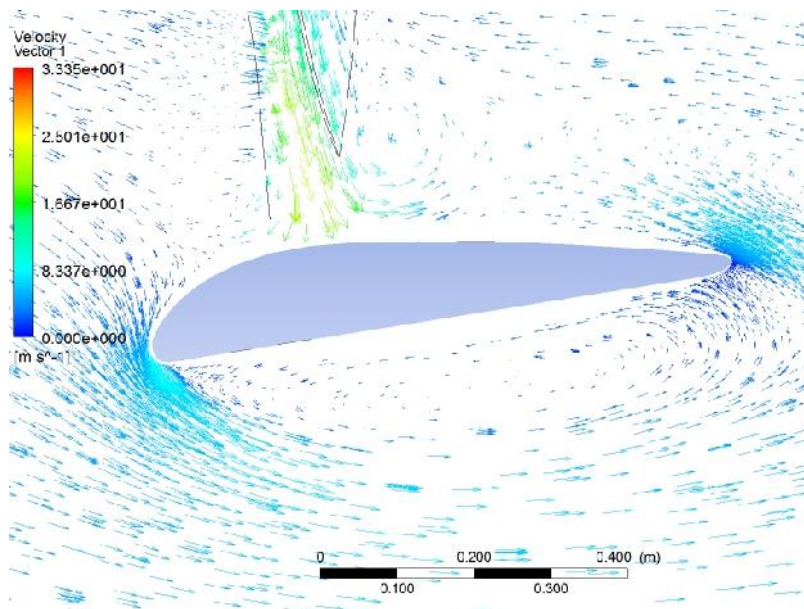
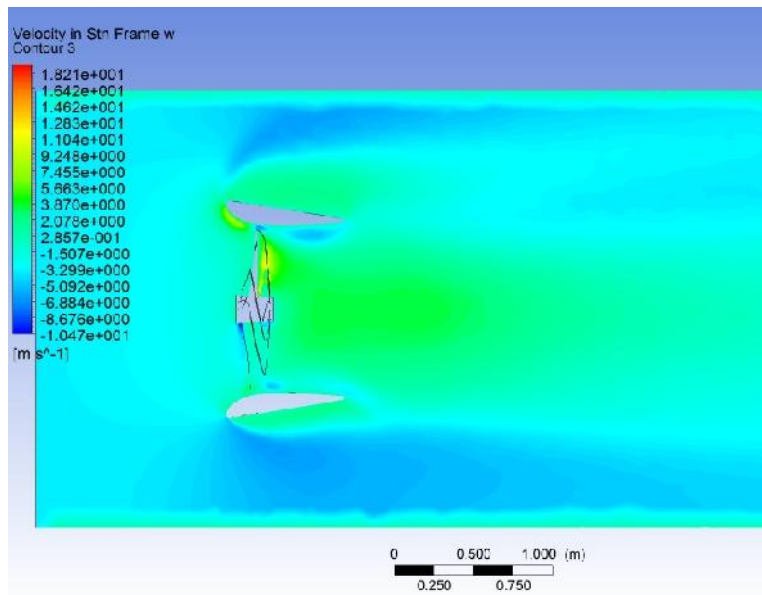




Ñ Ka-21-60

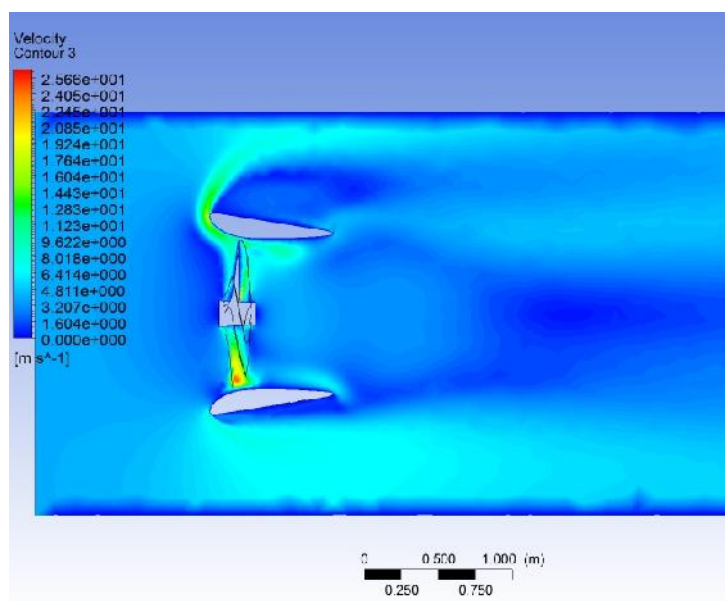
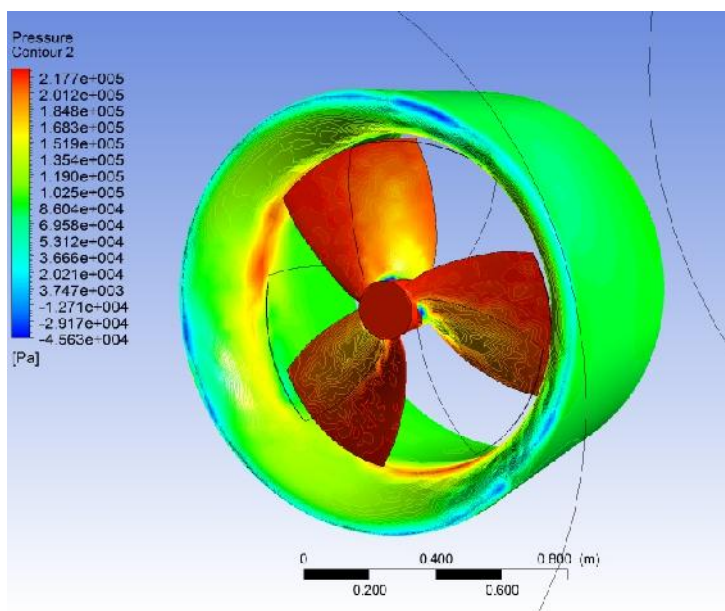


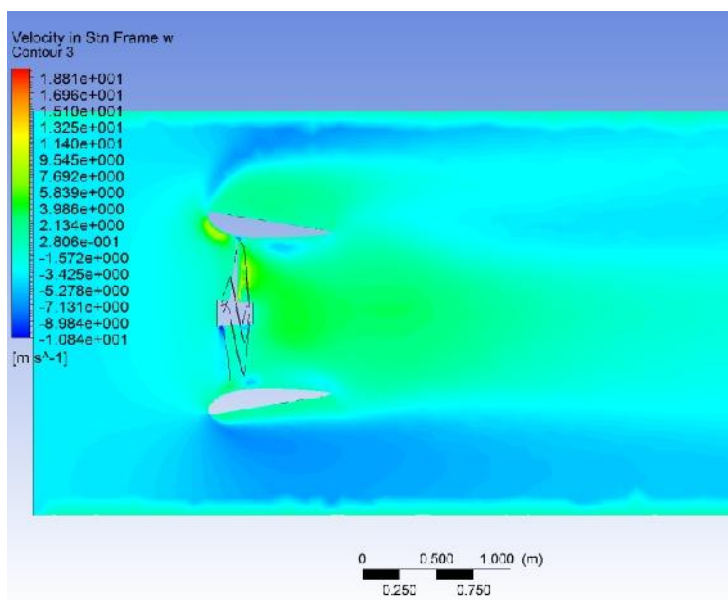
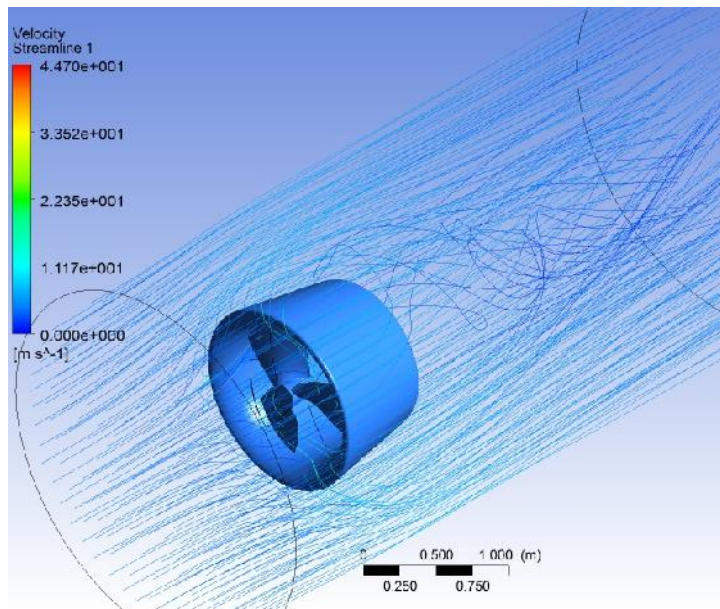


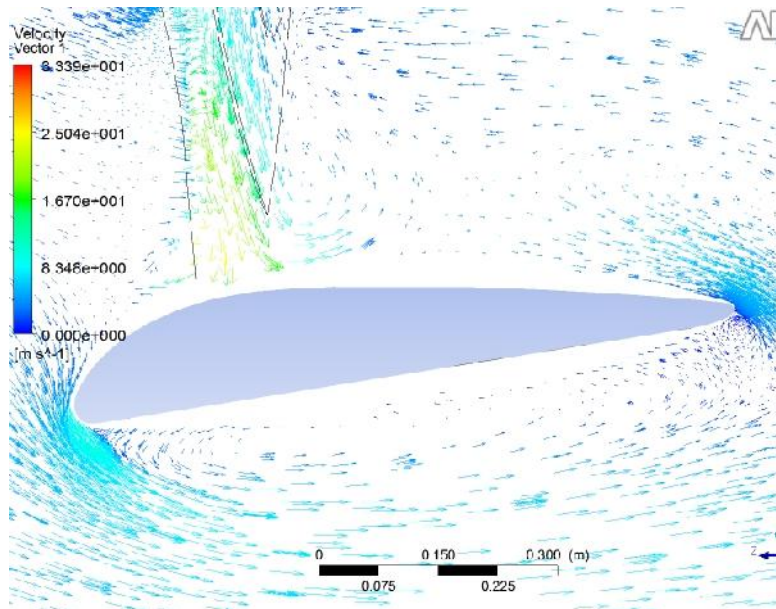




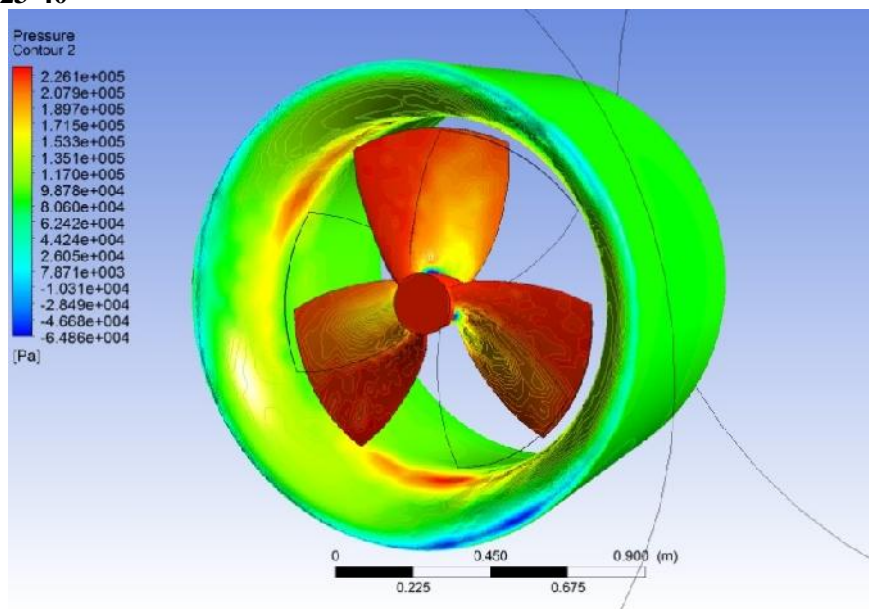
№ Ka-23-20

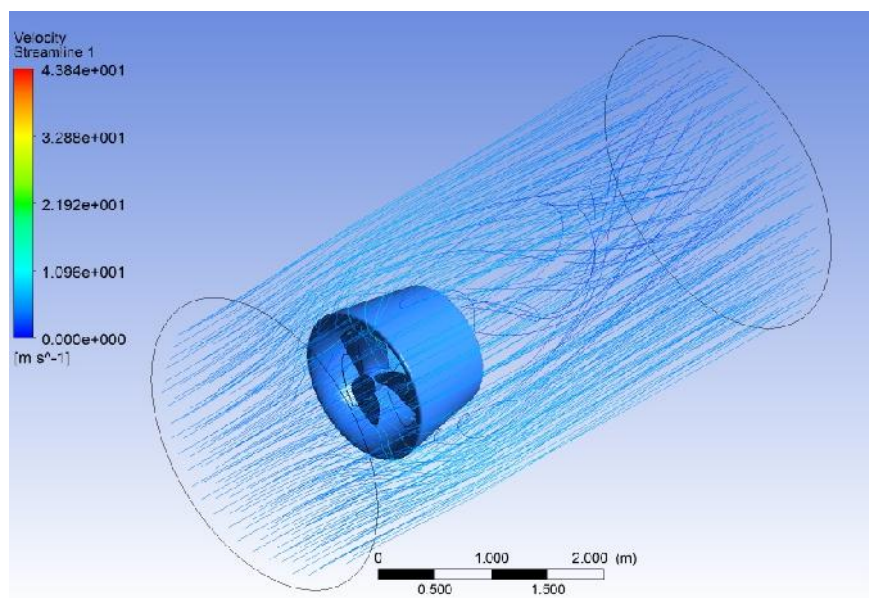
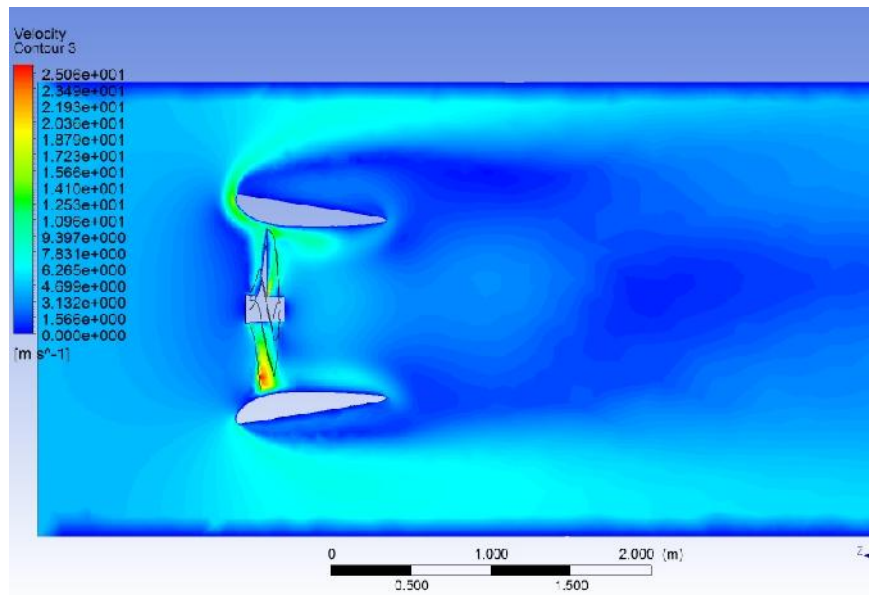




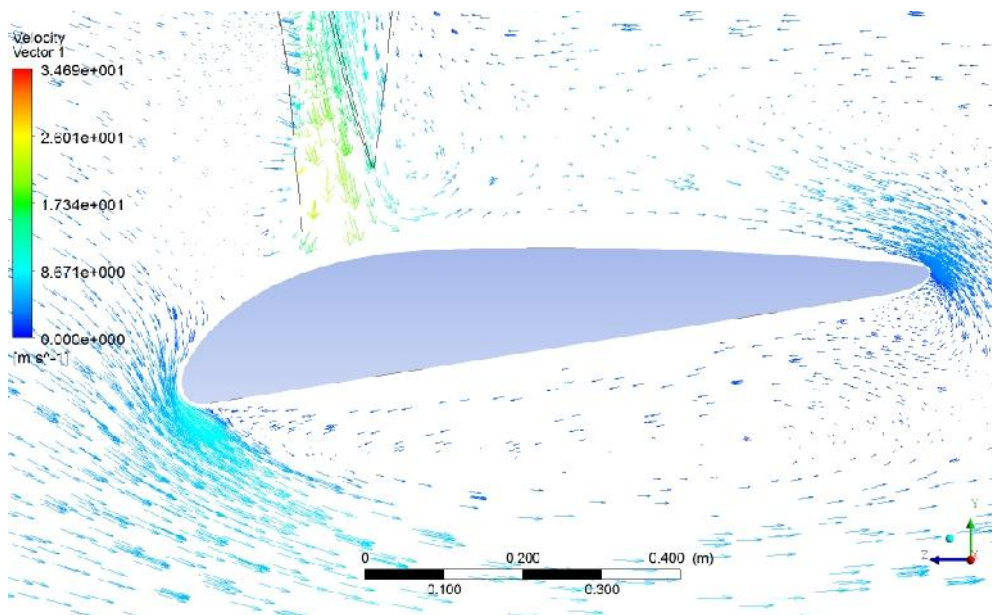
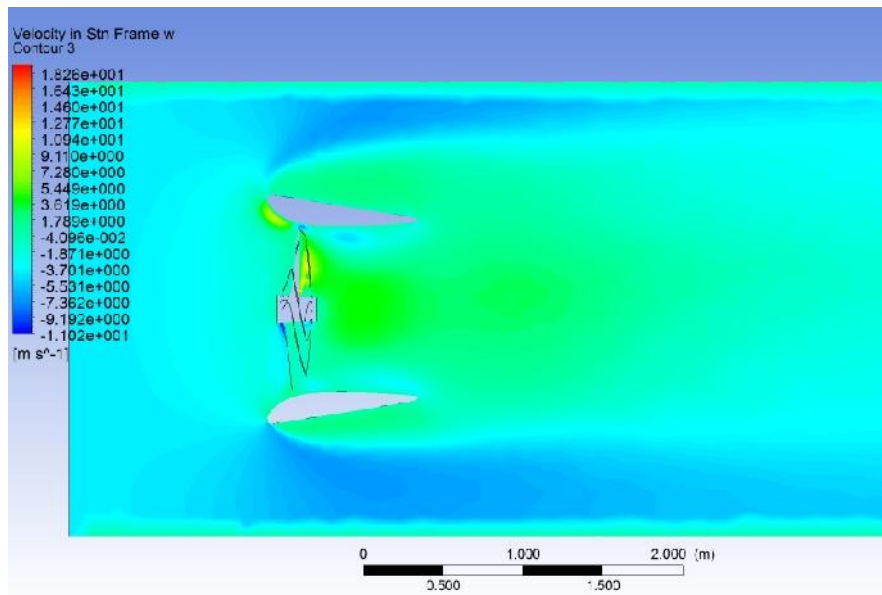


Ñ Ka-23-40

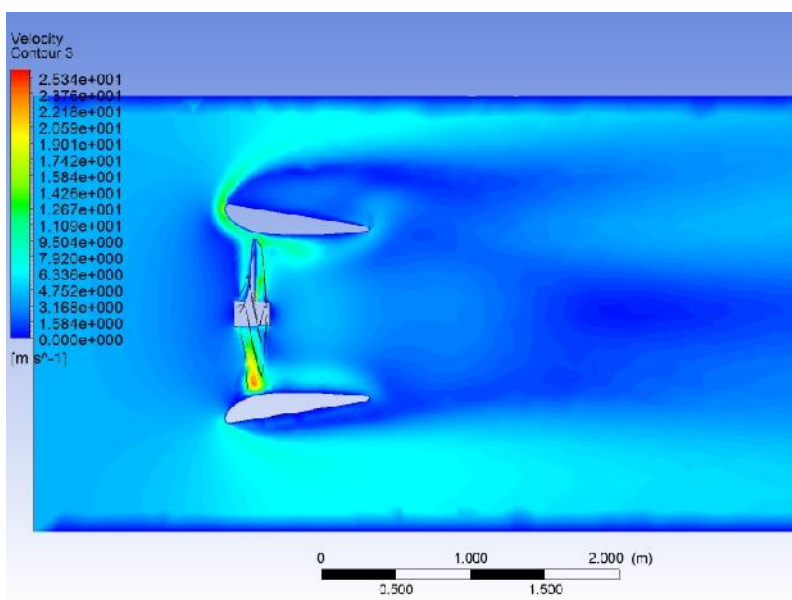
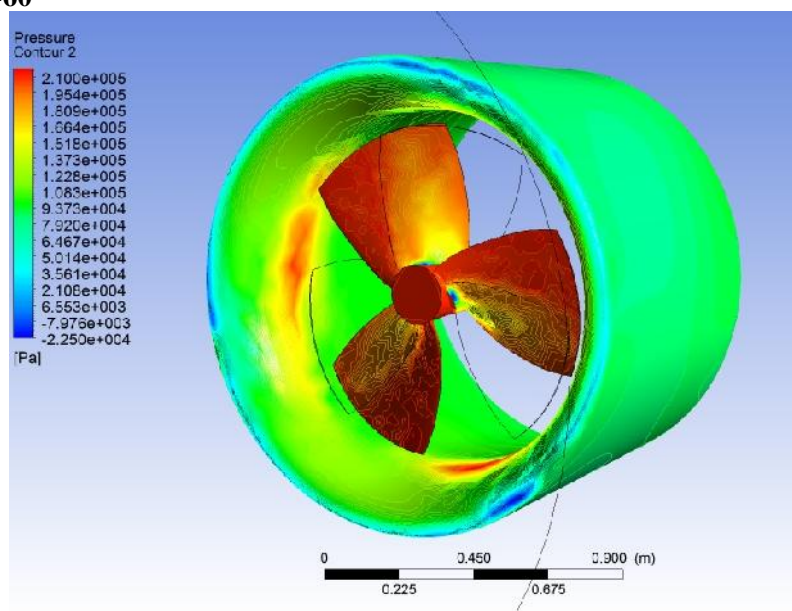


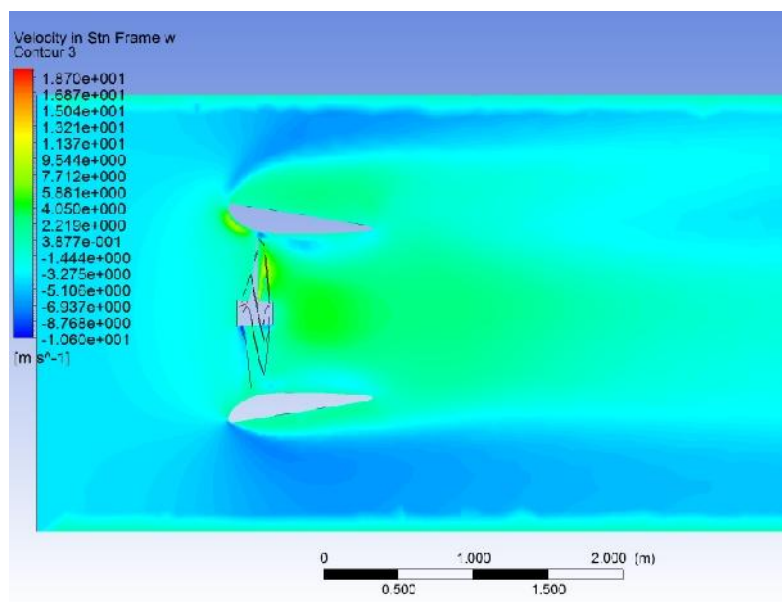
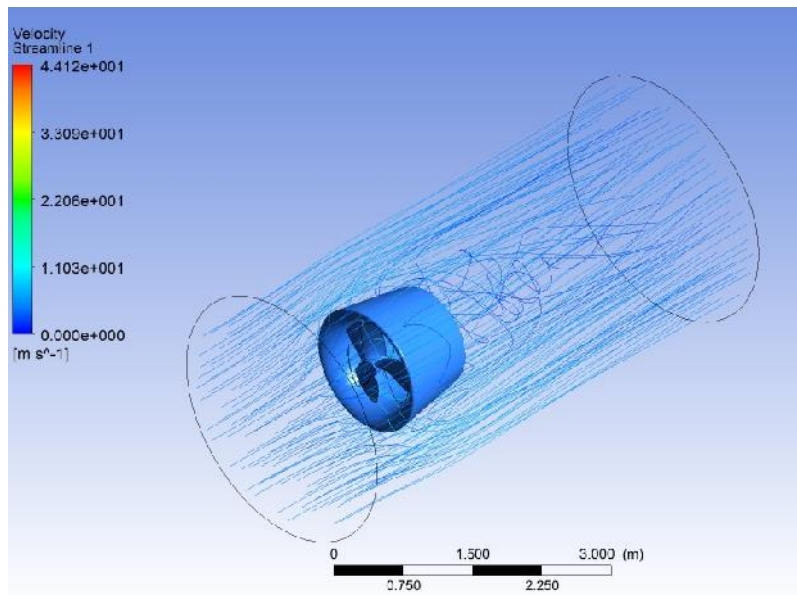


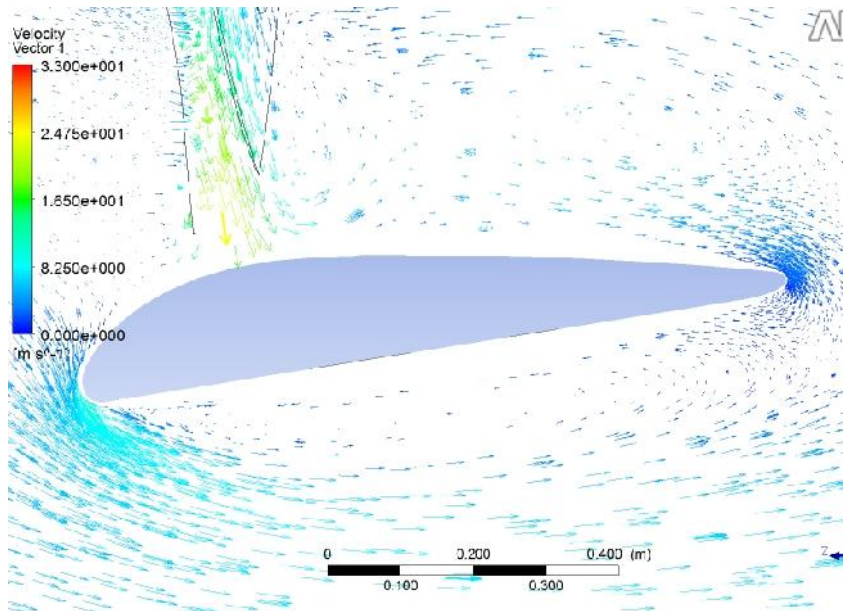




№ Ka-23-60









## **BIODATA PENULIS**



Penulis dilahirkan di Jombang, Jawa Timur pada tanggal 30 Januari 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Dilahirkan dengan nama lengkap Ahmad Dwi Arta Je Mafera dengan nama orang tua Mohammad Sulton, S.Pd. dan Dyah Amboro Regyaningtyas. Riwayat pendidikan dari penulis dimulai dari MI Kebokicak lulus tahun 2007, SMP Negeri 2 Jombang lulus tahun 2010, dan SMA Negeri 3 Jombang lulus tahun 2013. Penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan - Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN dengan nomor registrasi 42 13 100 002. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kampus. Pada tahun pertama penulis aktif dalam organisasi forum daerah yaitu Ikatan Mahasiswa Jombang (IMJ) ITS PENS PPNS. Pada tahun kedua penulis aktif sebagai ketua divisi Keilmiah Departemen Riset Dan Teknologi (RISTEK) Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) 14/15. Pada tahun ketiga penulis aktif sebagai ketua departemen Inovasi Karya (INKA) Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) 15/16. Pada tahun keempat penulis aktif sebagai Trainer Keilmiah ITS 2016 angkatan kelima dan pengurus Laboratorium Marine Manufacturing and Design (MMD) Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Penulis melaksanakan kerja praktek di PT. Dumas Tanjung Perak Shipyards dan PT. Tambanganraya Permai Surabaya.